

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE 35 TRENE PARA LÍNEA 1, 2, 3 y 4

2026

Jesús Navarro Antón

Responsable Enginyeria Material Mòbil

ÍNDICE

1. CONDICIONES GENERALES	15
1.1 OBJETO	15
1.2 EQUIPOS, ELEMENTOS Y SOFTWARE DE APORTACIÓN FMB.....	15
1.3 CONSIDERACIONES GENERALES	16
1.4 OFERTAS	19
1.5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	19
1.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS	20
1.6.1 <i>Características de la vía</i>	<i>20</i>
1.6.2 <i>Suministro de energía.....</i>	<i>22</i>
1.6.3 <i>Condiciones climatológicas</i>	<i>24</i>
1.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVICIO	26
1.7.1 <i>Composición de los trenes</i>	<i>26</i>
1.7.2 <i>Velocidades</i>	<i>26</i>
1.7.3 <i>Aceleraciones y deceleraciones</i>	<i>26</i>
1.7.4 <i>Condiciones degradadas de explotación.</i>	<i>31</i>
1.7.4.1 <i>Fallo de equipos de tracción/frenado</i>	<i>31</i>
1.7.4.2 <i>Fallo de otros equipos críticos</i>	<i>32</i>
1.7.4.3 <i>Requisitos generales ante fallo de equipos</i>	<i>34</i>
1.7.5 <i>Compatibilidad electromagnética</i>	<i>35</i>
1.7.6 <i>Características de la operación</i>	<i>36</i>
1.7.6.1 <i>Transformación cabina a GOA4</i>	<i>36</i>
1.8 NORMATIVA Y VISADO DEL PROYECTO	38
1.9 CAPACIDAD TRENES.....	38
1.10 GÁLIBOS.....	41
1.11 ACCESIBILIDAD UNIVERSAL	44
1.11.1 <i>Puertas accesibles.....</i>	<i>45</i>
1.11.2 <i>Asientos reservados</i>	<i>47</i>
1.11.3 <i>Espacio reservado para pasaje usuarios de silla de ruedas</i>	<i>49</i>

1.11.4	Suelo del vehículo	51
1.11.5	Información para pasajeros con discapacidad sensorial.....	52
1.11.6	Acondicionamiento exterior	53
1.11.7	Paneles luminosos interiores.....	53
1.12	MAQUETA.....	53
2.	ESPECIFICACIONES SOBRE EL MATERIAL MÓVIL	56
2.1	REQUISITOS GENERALES DE SOFTWARE E INTERFACES DE USUARIO	60
2.2	TOMA DE CORRIENTE Y LÍNEA PRINCIPAL (A)	61
2.2.1	Pantógrafos	62
2.2.2	Disyuntor.....	67
2.3	PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA (B)	69
2.3.1	Suministro y generación de baja tensión	69
2.3.1.1	Batería	69
2.3.1.2	Convertidores estáticos	74
2.3.2	Aparellaje eléctrico	78
2.3.2.1	Cables y canalizaciones	78
2.3.2.2	Paso eléctrico entre coches.....	81
2.3.2.3	Arquitectura de seccionamiento eléctrico del tren	83
2.3.2.4	Conectores	83
2.3.2.5	Relés de maniobra.....	85
2.3.2.6	Tomas de 230V AC	88
2.3.3	Faros y pilotos indicadores externos	88
2.3.4	Circuitos y dispositivos de seguridad	92
2.3.4.1	Lazo de tracción	93
2.3.4.2	Lazo de freno.....	94
2.3.4.3	Seta de emergencia.....	95
2.3.4.4	Pulsadores de anulación de protecciones	96
2.3.4.5	Tiradores de alarma.....	97
2.3.4.6	Central de Registro (Caja Negra)	100
2.3.4.7	Detección de incendios.....	106

2.3.5	Retornos de corriente	108
2.4	CABINA DE CONDUCCIÓN (C)	108
2.4.1	Acceso al puesto de conducción	116
2.4.2	Sistema de control de accesos a cabina (CAT)	120
2.4.3	Elementos de la cabina y del puesto de conducción	126
2.4.4	Asiento del personal de conducción	130
2.4.5	Iluminación del puesto de conducción	133
2.4.6	Ergonomía del puesto de conducción	134
2.4.7	Armarios de dotación	139
2.4.8	Puerta frontal de evacuación	140
2.5	SISTEMA NEUMÁTICO (D)	144
2.5.1	Grupo motocompresor	144
2.5.2	Acondicionamiento del aire	147
2.5.3	Depósitos	148
2.5.4	Instalación	149
2.5.5	Regulación y protecciones	150
2.5.6	Suspensión neumática	150
2.5.7	Dispositivo de aviso acústico	151
2.6	PUERTAS (E)	153
2.6.1	Características técnicas	153
2.6.2	Requisitos funcionales	158
2.6.2.1	Mando de puertas	158
2.6.2.2	Detección de obstáculos	159
2.6.2.3	Detección de obstáculos por borde sensible (antidrag)	160
2.6.2.4	Comportamiento ante detección de puerta abierta	161
2.6.2.5	Sistemas de desbloqueo	162
2.6.2.6	Dispositivo de condena	163
2.6.2.7	Indicadores luminosos de puertas	164
2.6.2.8	Sonería de mandos y puertas	166

2.7 EQUIPO DE FRENO NEUMÁTICO (F)	168
2.7.1 Equipo de control del freno neumático	169
2.7.2 Antibloqueo o antipatinaje	173
2.7.3 Freno de estacionamiento	175
2.7.4 Freno de retención	177
2.8 EQUIPO DE TRACCIÓN (G)	178
2.8.1 Requisitos generales del equipo de tracción	178
2.8.2 Electrónica de control de tracción y protecciones	182
2.8.3 Antipatinaje y antibloqueo coches	185
2.8.4 Motores de tracción	187
2.8.5 Emisor de consigna de tracción	189
2.9 BOGIES (H)	192
2.9.1 Bastidor	197
2.9.2 Ejes	197
2.9.3 Ruedas	198
2.9.4 Cajas de grasa	201
2.9.5 Suspensiones	202
2.9.5.1 Suspensión primaria	203
2.9.5.2 Suspensión secundaria	203
2.9.6 Traviesa bailadora	205
2.9.7 Amortiguadores	205
2.9.8 Reductores	206
2.9.9 Equipo de freno en el bogie	207
2.9.9.1 Timonería	207
2.9.9.2 Cilindros de freno	208
2.9.9.3 Disco de freno	209
2.9.9.4 Guarniciones y Zapatas de freno	210
2.9.10 Zapata de limpieza	210
2.9.11 Sistema de detección de descarrilo	211

2.10 ENGANCHES (I)	213
2.10.1 Enganche automático	214
2.10.2 Enganche semipermanente	216
2.11 CAJA (J)	218
2.11.1 General	218
2.11.2 Tratamiento superficial	221
2.11.2.1 Pintura	221
2.11.2.2 Vinilo	223
2.11.2.3 Acabados y protecciones	227
2.11.3 Armarios, cofres y canalizaciones	227
2.11.4 Techo	232
2.11.5 Departamento de pasaje	234
2.11.5.1 Asientos	234
2.11.5.2 Asideros	236
2.11.5.3 Pavimento	238
2.11.5.4 Revestimiento interior	240
2.11.5.5 Pasillo de intercurrencia	242
2.11.5.6 Ventanas y luna frontal	243
2.11.5.7 Iluminación interior	246
2.12 SISTEMA INFORMÁTICO EMBARCADO (K)	249
2.12.1 Red troncal TCN	249
2.12.2 Puesta en marcha y desconexión del tren	256
2.12.2.1 Introducción	256
2.12.2.2 Puesta en marcha y desconexión local	256
2.12.2.3 Puesta en marcha y desconexión remota	259
2.13 AIRE ACONDICIONADO, CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN (L)	260
2.13.1 Equipo de aire acondicionada de sala de pasaje	261
2.13.2 Equipo de climatización de cabina	262
2.13.3 Mando y control del sistema	263

2.13.4	Ventilación de emergencia	265
2.14	SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO (M)	267
2.14.1	Arquitectura de redes ethernet embarcadas	267
2.14.1.1	Requisitos técnicos cableado redes embarcadas	268
2.14.2	COM_embarcado	269
2.14.3	Características generales de las redes ethernet embarcadas	270
2.14.3.1	Switch	271
2.14.4	Elementos a entregar a FMB.....	273
2.14.5	Modelo de datos FMB.....	274
2.14.6	CPU Multipropósito.....	276
2.14.6.1	Características técnicas (HW y Plataforma)	277
2.14.6.2	Funcionalidades e integraciones Software	277
2.14.6.3	Hitos y entregas.....	279
2.14.6.4	Antenas exteriores.....	279
2.14.7	Sistema de Radio DMR	280
2.14.7.1	Alcance del sistema Radio DMR a poner en servicio	281
2.14.7.2	Rack de Radio DMR	283
2.14.7.3	Pupitre Radio DMR del personal de conducción	286
2.14.7.4	Antena Radio del tren	290
2.14.7.5	Cableado necesario para la conexión del sistema Radio DMR	292
2.14.7.6	Cargadores de terminal portátil DMR (walkie) en cada cabina.....	294
2.14.8	Megafonía.....	295
2.14.8.1	Altavoces	299
2.14.8.2	Micrófono ambiente	299
2.14.9	Interfonía.....	299
2.14.10	Video vigilancia	301
2.14.10.1	Software de video vigilancia	302
2.14.10.2	Puesto de motorista.....	304
2.14.10.3	Cámaras	306
2.14.11	Video difusión.....	308

2.14.11.1	Software de video difusión.....	309
2.14.11.2	Pantallas video información	312
2.14.11.3	Software pantallas video información al pasaje	315
2.14.12	<i>Señalización número de servicio e indicador de lado apertura de puertas</i>	<i>317</i>
2.14.13	<i>Contador de personas</i>	<i>317</i>
2.14.14	<i>Localización de personas embarcadas.....</i>	<i>320</i>
2.14.14.1	Beacons Bluetooth.....	320
2.15	MODOS DE CONDUCCIÓN.....	323
2.15.1	<i>ATP-ATO L2</i>	<i>324</i>
2.15.1.1	Descripción general	324
2.15.1.2	Componentes Principales del Sistema	325
2.15.1.3	Funcionamiento del Sistema.....	325
2.15.1.4	Modos de Conducción	326
2.15.1.5	Filosofía de Seguridad (Fail Safe)	327
2.15.1.6	ATP/ATO en L2 con modo Distancia Objetivo (DTG)	327
2.15.2	<i>ATP-ATO L4</i>	<i>327</i>
2.15.2.1	Especificaciones Sistema CBTC On-Board	327
2.15.2.2	Especificaciones Sistema Comunicaciones.....	330
2.15.2.3	Especificaciones Espacios Reserva	330
2.15.3	<i>ATP-ATO L1/L3</i>	<i>331</i>
2.15.4	<i>Tren – Stop</i>	<i>334</i>
2.15.5	<i>Llave Especial.....</i>	<i>339</i>
2.15.6	<i>Hombre muerto.....</i>	<i>339</i>
2.16	SISTEMA DE TELEMONITORITZACIÓN Y TELEMANDO DE TREN	344
2.16.1	<i>Introducción</i>	<i>344</i>
2.16.2	<i>Sensorización a incorporar a los trenes</i>	<i>352</i>
2.16.2.1	Requisitos Generales de la Sensorización	352
2.16.2.2	Sensorización para la monitorización del consumo energético	352
2.16.2.3	Sensorización para la monitorización de los parámetros ambientales del interior de cada coche	353

2.16.3	Plataforma de monitorización nativa del fabricante.....	354
2.16.4	Plataforma de monitorización de activos de FMB (Davana), Digital Train.....	354
2.17	INTEGRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DIGITAL TRAIN EN EL TREN Y EN SU RED DE COMUNICACIONES TCN.....	355
2.17.1	Monitorización pasiva del tráfico de la red de tren TCN.....	356
2.17.2	PC de Digital Train.....	357
2.17.3	Antenas 4/5G y wifi.....	360
2.17.4	Integración de los datos de la red de tren	360
2.17.5	Requisitos de acceso y disponibilidad de datos.....	360
2.17.6	Obligaciones de integración y coordinación	361
2.17.7	Contenido de la propuesta técnica.....	361
2.18	TRENES AUSCULTADORES.....	361
2.18.1	Subsistemas y alcance a incluir en los dos trenes auscultadores	362
2.18.1.1	Arquitectura de red de los sistemas de auscultación.....	364
2.18.1.2	Localización de los equipos de auscultación	367
2.18.1.3	Disposición de armarios y elementos auxiliares para la instalación de los equipos de trenes auscultadores.....	370
2.18.2	Documentación de los trenes auscultadores	371
2.19	TELEMANDOS.....	371
3.	MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN (CBM).....	378
3.1	METODOLOGÍA.....	378
3.2	CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA CBM.....	380
3.3	EQUIPOS BÁSICOS A MONITORIZAR	381
3.3.1	Implementación de técnica de mantenimiento basado en fiabilidad (RCM)	387
3.3.2	Algoritmos a implantar	389
3.4	INTEGRACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE INFORMACIÓN	390
3.5	DOCUMENTACIÓN.....	390
4.	SEGURIDAD FERROVIARIA.....	391
4.1	ENTORNO	391
4.2	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	392

4.3 OBJETIVOS DE SEGURIDAD FERROVIARIA Y ACEPTACIÓN DE LOS RIESGOS 393

4.3.1	<i>Clasificación de los Riesgos</i>	394
4.3.1.1	Frecuencia de ocurrencia	395
4.3.1.2	Gravedad de las consecuencias.....	396
4.3.1.3	Matriz para la clasificación de riesgos	397
4.3.1.4	Determinación del nivel de riesgo.....	398
4.3.2	<i>Aceptación de la Seguridad ferroviaria</i>	399
4.3.2.1	Códigos prácticos	399
4.3.2.2	Comparación con sistemas similares	399
4.3.2.3	Estimación explícita del riesgo.....	400
4.3.3	<i>Listado de accidentes potenciales</i>	400

4.4 ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE SEGURIDAD FERROVIARIA..... 401

4.5 ESTUDIOS Y DOCUMENTACIÓN DE SEGURIDAD FERROVIARIA PARA SISTEMAS NUEVOS..... 401

4.5.1	<i>Plan de Seguridad Ferroviaria</i>	402
4.5.2	<i>Análisis Preliminar de Riesgos</i>	403
4.5.3	<i>Registro de Peligros (Hazard Log)</i>	404
4.5.3.1	Registro de Peligros (Hazard Log): Exportaciones	406
4.5.4	<i>Análisis de Modo de Fallos, de sus Efectos y Criticidad (AMFEC)</i>	407
4.5.5	<i>Notas Técnicas de Seguridad</i>	407
4.5.6	<i>Lista de Elementos Críticos para la Seguridad Ferroviaria (LECS)</i>	408
4.5.7	<i>Informe de Verificación</i>	408
4.5.8	<i>Informe de Validación</i>	409
4.5.9	<i>Safety Case Diseño</i>	410
4.5.10	<i>Safety Case de la puesta en servicio (PeS)</i>	410
4.5.11	<i>Informe de Evaluación y Certificado ISA</i>	411

5. CIBERSEGURIDAD FERROVIARIA 414

5.1 NORMATIVA APLICABLE..... 414

5.2 REQUISITOS GENERALES 414

5.3	REQUISITOS PARA LA FASE DE PROYECTO	417
5.4	REQUISITOS PARA LA FASE DE APOYO Y GARANTÍA	418
5.5	JUSTIFICACIÓN CONFIDENCIALIDAD	420
6.	PROTECCIÓN CIVIL	420
6.1	COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO	420
6.2	REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO Y CONDICIONES DE EVACUACIÓN	421
6.3	REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO EN LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS	422
6.4	SISTEMAS DE CONTROL Y GESTIÓN DEL FUEGO	424
6.5	COMPORTAMIENTO FRENTE AL RESBALAMIENTO	426
6.6	SEÑALIZACIÓN EN EL INTERIOR DEL TREN	426
6.7	DISPOSITIVO DE EVACUACIÓN LATERAL	427
6.8	SEÑALIZACIÓN	428
6.9	RIESGO ELÉCTRICO	428
7	DOCUMENTACIÓN	429
7.1	REQUISITOS PARA VISUALIZACIÓN, WORKSTATIONS Y SOFTWARE DE CONSULTA	435
8	FORMACIÓN	437
8.1	GENERALIDADES	437
8.2	PERSONAL IMPLICADO Y CONTENIDO	437
8.3	PLAN DE FORMACIÓN	439
8.3.1	<i>Cabinas de simulación de conducción de alta inmersión</i>	441
8.3.1.1	Representaciones Virtuales	442
8.3.1.2	Sistema de Sonido	443
8.3.1.3	Comunicaciones	444
8.3.1.4	Sistema de Visualización	444
8.3.1.5	Mandos de Conducción Reales	444
8.4	MATERIAL DIDÁCTICO	445
9	SOSTENIBILIDAD	447
9.1	DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO VERIFICADA	447

9.2	DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL REACH	449
9.3	INSTRUCCIONES ESPECÍFICAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS.....	450
9.4	PESO	451
9.5	VIBRACIONES	453
9.6	RUIDO.....	453
9.7	CONSUMO ENERGÉTICO	456
9.7.1	<i>Condiciones para el cálculo.....</i>	457
9.7.2	<i>Recorrido de referencia y valores máximos de referencia.....</i>	458
9.7.3	<i>Verificación mediante prueba tipo</i>	460
9.7.4	<i>Instrumentación mínima de ensayo.....</i>	460
9.7.5	<i>Tratamiento posterior de resultados.....</i>	462
9.7.6	<i>Resultado de verificación</i>	463
10	INGENIERIA, FABRICACIÓN Y PRUEBAS.....	463
10.1	INGENIERÍA, FABRICACION, PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA.....	471
10.2	PERSONAL DEL ADJUDICATARIO.....	472
10.2.1	<i>Organigrama detallado</i>	473
10.2.2	<i>Intercambio de documentación y comunicaciones de proyecto.....</i>	473
10.3	APROBACIÓN DEL PROYECTO E INSPECCIÓN DE LA FABRICACIÓN.....	474
10.3.1	<i>Inspección y pruebas durante la fabricación</i>	476
10.3.2	<i>Plazos e información a suministrar previos a pruebas tipo e inspecciones del primer artículo (FAIs).....</i>	478
10.3.3	<i>Plazos e información a suministrar previos a inspecciones, pruebas serie y/o ensayos</i>	479
10.3.4	<i>Revisión preventiva previa al traslado de trenes no finalizados o en fase de pruebas</i>	479
10.3.5	<i>Derecho de FMB para solicitar repetir cualquier tipo de pruebas inspecciones y/o ensayos</i>	480
10.3.6	<i>Recursos para las pruebas, inspecciones y/o ensayos</i>	480
10.3.7	<i>Principales operaciones de control.....</i>	481
10.3.7.1	<i>Control de las Cajas</i>	481
10.3.7.2	<i>Programa de control de los bogies</i>	494

10.3.7.3	Programa de las principales operaciones de control de los motores de tracción	495
10.3.7.4	Control del equipo de tracción, convertidores estáticos y resto de equipos electrónicos. 496	
10.3.7.5	Control de los subcontratistas.....	497
10.3.7.6	Operaciones de control de piezas mecánicas y materias primas.	504
10.3.8	Niveles de control a aplicar a los diferentes órganos del vehículo	509
10.3.8.1	Caja	510
10.3.8.2	Bogies.....	512
10.3.8.3	Motores de tracción	513
10.3.8.4	Equipo de tracción	514
10.3.9	Ensayos y controles.....	514
10.3.9.1	Generalidades	514
10.3.10	Gestión de la fabricación	515
10.3.10.1	Plan de control del Adjudicatario	515
10.3.10.2	Principios del programa de la Inspección de fabricación	518
10.4	PLANNING DE FABRICACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA	520

INDICE DE ANEXOS

1. Funcional_Pantalles_Videodifusio_nous_trens_2025_v1
2. 21-538-MANUAL_PantallesVideodifusió-Trens
3. NORMATIVA PER A L' ELABORACIÓ DE PLÀNOLS I PER A LA RECEPCIÓ D' INFORMACIÓ GRÀFICA v2
4. Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra v2
5. Especificaciones Arquitectura v2.7
6. PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos Trens Auscultadors_v2
7. NTOTIC_011 MAPA DE RIESGOS OT+IICC_2026
8. NTOTIC_012 DESCRIPCION DE LOS CONCEPTOS DEL LISTADO SuC
9. NTOTIC_014 REQUISITOS SEGURIDAD PARA SISTEMAS OPERACIONALES FMB
10. NTOTIC_017 PRÁCTICAS SEGURAS DE CODIFICACIÓN DE PLC
11. NTOTIC_018 GUIA BASTIONADO ENS
12. TRAZADOS_Y_VELOCIDADES_L2

1. CONDICIONES GENERALES

1.1 OBJETO

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas tiene por objeto definir los principios para el diseño y construcción de 35 trenes para la red del Ferrocarril Metropolità de Barcelona (en adelante expresada como FMB) y poder establecer ofertas comparables para el suministro del mismo.

Todos los requerimientos del presente pliego deben considerarse como de obligado cumplimiento, salvo en aquellos casos en que se indique que se valoran capacidades o prestaciones superiores a las requeridas.

1.2 EQUIPOS, ELEMENTOS Y SOFTWARE DE APORTACIÓN FMB

FMB aportará exclusivamente los equipos, elementos, documentación, software o firmware que se indiquen expresamente en el presente apartado o en los apartados específicos del pliego. La aportación de dichos elementos por parte de FMB no exime al Adjudicatario de su responsabilidad sobre el diseño de implantación, instalación, conexonado, alimentación, adaptación mecánica y eléctrica, interfaces, cableados, soportes, cofres, armarios, protecciones, integración funcional, integración con las redes y sistemas embarcados, integración tren-tierra, verificación, validación, pruebas en fábrica, pruebas en vía FMB, puesta en marcha y documentación necesaria para operación y mantenimiento.

Tendrán la consideración de equipos, elementos o software de aportación FMB los siguientes:

- a) **Equipos ATP-ATO embarcados:** FMB facilitará al Adjudicatario únicamente los siguientes equipos ATP-ATO a instalar en todos los trenes:
 - a. Equipos de control, mando y comunicación.
 - b. Equipos de captación.
 - c. Antenas.
 - d. Resto de equipos y elementos de suministro del fabricante de este sistema.
- b) **Equipos hardware de Tren-Stop para 35 trenes:** FMB facilitará al Adjudicatario los equipos hardware de Tren-Stop a instalar en los 35 trenes.
- c) **Sistema Radio DMR:** FMB suministrará el Rack Radio DMR configurado de cada cabina de tren, en número de dos racks por tren, así como el Pupitre Radio DMR configurado de motorista de cada cabina de tren, en número de dos por tren.
 - a. Rack ZSE (2 por tren).

- b. Consola COCO de pupitre (2 por tren).
- d) **CPU multipropósito, software base y sistemas digitales FMB:** FMB aportará los siguientes equipos:
 - a. CPUs multipropósito (2 por tren).
 - b. Antenas MIMO 5G wifi (2 por tren)
- e) **Sistema de detección de fisuras de carril:** Este sistema no forma parte del suministro incluido en la licitación. No obstante, el Adjudicatario deberá prever y ejecutar la preinstalación necesaria para su futura incorporación, incluyendo cableado Ethernet y de alimentación, rack para futura instalación del servidor en zona de pasaje, estructura soporte bajo bastidor, reserva de espacio para el sistema de captación de imágenes del carril y cualquier otra previsión definida en el presente pliego o en sus anexos.
- f) **Redes y comunicaciones generales** (para todos los lotes):
 - a. Communication Gateway (incluye funcionalidades del firewall) (2 por tren).
 - b. Enrutador N3 (2 por tren).
 - c. Antenas para la communication Gateway (2 por tren).
- g) **Equipo Monitorización Digital Train** (para todos los lotes):
 - a. PC DTE Digitaltrain (1 por tren).

La aportación por parte de FMB de cualquiera de los elementos anteriores no supondrá transferencia al Adjudicatario de la propiedad intelectual, licencias, firmware, software base o documentación no expresamente incluida en el contrato, ni limitará las responsabilidades del Adjudicatario respecto a la correcta integración, compatibilidad, seguridad, mantenibilidad, accesibilidad para mantenimiento, pruebas y puesta en servicio del tren completo.

Todo equipo, elemento, material, licencia, desarrollo, adaptación, cableado, conector, soporte, armario, cofre, bastidor, antena, fuente de alimentación, protección, interfaz, herramienta, documentación, ensayo, validación, certificación o trabajo necesario para el cumplimiento del presente pliego que no esté expresamente identificado como aportación de FMB se considerará incluido íntegramente en el alcance de suministro del Adjudicatario, sin coste adicional para FMB.

1.3 CONSIDERACIONES GENERALES

Los trenes objeto de este pliego convivirán con los trenes presentes actualmente en L1, L2, L3 y L4. El Adjudicatario deberá asegurar la total compatibilidad entre los trenes actuales y los trenes objeto de este pliego en todos los sistemas. En fase de proyecto se facilitará la documentación necesaria para que se pueda diseñar los trenes con dicha compatibilidad.

El tren ofertado debe incorporar las más avanzadas tecnologías que estén completamente probadas y fiabilizadas. No se admitirán propuestas no suficientemente probadas y fiabilizadas. Tampoco se admitirán propuestas que precisen de un largo plazo de suministro o fiabilización.

Otras características solicitadas son seguridad, sostenibilidad, accesibilidad, bajo peso, bajo consumo energético y bajo coste de mantenimiento.

FMB, dentro de su política de mejora del mantenimiento del material móvil, pretende que estos trenes incorporen un avanzado sistema de monitorización remoto y mantenimiento basado en condición (CBM).

Para cumplir estos objetivos, se establecen las siguientes premisas:

- El presente pliego de prescripciones técnicas describe a nivel funcional el material rodante que se solicita.
- El tren ofertado deberá estar en condiciones de prestar servicio con la máxima fiabilidad en el mínimo tiempo posible. Para ello, los ofertantes deberán presentar tecnologías probadas, por lo que deberán aportarse referencias de todos los equipos principales ofertados. No se aceptarán soluciones que no estén en servicio en otros operadores metropolitanos de características similares.
- El fabricante deberá tener experiencia demostrada en la fabricación de trenes de Metro y en todas las fases de la gestión de proyectos de este alcance, para poder cumplir con los requisitos de este pliego.
- La fabricación de los trenes deberá llevarse a cabo cumpliendo las normativas de calidad, medio ambiente y seguridad vigentes.
- El diseño deberá estar dimensionado y concebido para garantizar que el tren pueda prestar servicio durante un periodo mínimo de 40 años.
- La seguridad, tanto para los pasajeros como para el personal de mantenimiento y operación, deberá ser una prioridad. Para ello, el diseño estará enfocado a conseguir los máximos niveles de seguridad, cumpliendo los estándares y normas más exigentes.
- La fiabilidad deberá ser elevada y conseguirse en el mínimo tiempo posible. El no cumplimiento de los valores ofertados comportará elevadas penalizaciones, alargamiento del periodo de garantía y/o la paralización de la fabricación.

- El diseño deberá ser tal que se evite cualquier tipo de avería que afecte al servicio comercial. En caso de que estas averías ocurriesen, el tren deberá permitir una recuperación sencilla y segura. En cualquier caso, el diseño deberá ser tal que el fallo de un solo componente no provoque una avería que afecte al servicio comercial.
- El coste de mantenimiento será evaluado mediante el coste del ciclo de vida. Para ello deberá prestarse especial atención a la mantenibilidad de los trenes. El no cumplimiento de los valores ofertados comportará penalizaciones.
- El peso y consumo energético del tren deberán ser lo más bajos posibles a fin de disminuir el consumo eléctrico y los costes de mantenimiento de la infraestructura. El no cumplimiento de los valores ofertados comportará penalizaciones.
- La sostenibilidad ambiental será criterio fundamental a la hora de valorar las diferentes ofertas al ser valores fundamentales para FMB.
- La accesibilidad universal será un requerimiento de este pliego para cumplir con los mejores estándares universales.
- Los plazos de entrega son de máxima importancia para FMB. El no cumplimiento de los plazos ofertados y de los exigidos en el PCP comportará penalizaciones.
- En lo referente a monitorización remota y CBM el ofertante deberá presentar un sistema altamente avanzado que permita reducir las incidencias en línea al tiempo que contribuya a reducir los costes de mantenimiento. Deberá disponer de un equipo técnico que juntamente con técnicos de FMB desarrollen a lo largo de la vigencia del contrato.
- Los sistemas de información al pasajero deberán ser de última generación y altamente fiables.

Otras cuestiones importantes son las siguientes:

- Los trenes podrán circular con el actual sistema de señalización GOA nivel 2, pero deben estar preparados para poder pasar a un GOA nivel 3 y 4. Por tanto, la cabina de conducción necesaria, mientras el tren funcione en GOA nivel 2, deberá poder ser retirada con facilidad cuando se pase a GOA nivel 3 y 4.
- A los 6 meses desde la firma del contrato, el Adjudicatario presentará el proyecto de fabricación del tren el cual deberá ser validado por FMB en un plazo máximo de 2 meses.

1.4 OFERTAS

Las ofertas se presentarán redactadas en catalán o en castellano. Toda la documentación que se adjunte a las ofertas, y que se encuentre redactada en otro idioma deberá acompañarse de la correspondiente traducción jurada.

1.5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

- ATO: “Automatic Train Operation”. Sistema de conducción automático (GOA 2).
- ATP: “Automatic Train Protection”. Sistema de protección automática.
- ATB: “Automatic Turn Back”. Vuelta automática sin conductor.
- CCM: Centro de Control de FMB.
- CBM: siglas en inglés de Mantenimiento Basado en Condición.
- Manual + 25 (M + 25): modo de conducción del sistema ATP que permite circular en modo manual en un tramo de vía sin códigos. Este modo permite el rebase de señales en rojo. La velocidad máxima que permite es 25 km/h.
- Modo especial: conducción con anulación del sistema ATP/ATO. La velocidad máxima será de 25 km/h.
- Modo socorro: conducción con el sistema informático embarcado anulado.
- Tren-stop: sistema que existe en algunas líneas y que actúa como respaldo al ATP. El sistema frena de emergencia el tren en caso de excederse un disco en rojo o exceso de la velocidad permitida.
- DTG: Distance To Go.
- AW0: Vehículo vacío.
- AW1: AW0 + Pasajeros sentados y tripulación.
- AW2: AW1 + Pasajeros de pie 4 personas/m².
- AW3: AW1 + Pasajeros de pie 6 personas /m². A efectos del presente pliego, AW3 se considerará la condición de carga nominal de pasaje cargado.

- AW4: AW1 + Pasajeros de pie 8 personas /m². A efectos del presente pliego, AW4 se considerará la condición de carga máxima o excepcional de pasaje.

* Las condiciones de carga AW0, AW1, AW2, AW3 y AW4 se establecen como estados de carga propios del presente pliego. Cuando para cálculos, verificaciones, ensayos, categorización del vehículo, compatibilidad con la infraestructura o documentación técnica sean de aplicación normas que utilicen masas de referencia, cargas por eje, cargas útiles, estados de carga o condiciones de masa del vehículo, el Adjudicatario deberá justificar la correspondencia entre dichos estados de carga y los parámetros definidos en las normas aplicables, incluyendo, en particular, las normas UNE-EN 15663 y UNE-EN 15528 cuando proceda.

A efectos del presente pliego, AW3 se considerará la condición de carga nominal de pasaje cargado y AW4 la condición de carga máxima o excepcional de pasaje.

1.6 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS

Los trenes objeto de esta licitación prestarán servicio en las líneas 1 (ancho de vía 1.674 mm), 2, 3 y 4 (ancho de vía 1.435 mm). Los trenes objeto de esta licitación serán compatibles con el gálibo del resto de líneas de ancho internacional y podrán desplazarse por el resto de líneas (5, 9 y 10) y acudir a todos los talleres de mantenimiento.

La compatibilidad de gálibo de dichos trenes entre las líneas por donde se ha indicado que podrán circular en servicio comercial deberá ser comprobada en las pruebas tipo.

Las estaciones que forman parte de la red de FMB disponen de andenes a un lado u otro del tren o en ambos lados a la vez.

1.6.1 Características de la vía

	L1	L2, L3, L4
Galga en vía recta	1674 mm	1435 mm
Distancia media entre estaciones	690 m	714 m
Longitud de andenes	90 m	90 m
Radio mínimo de curva en vía general	175 m	80 m
Radio mínimo de curva en vías de cocheras, playas y túneles de enlace	65 m	• Curva compuesta de sentido único (sin cambio de dirección). ○ Tramo 1: Radio de 37 m con longitud de 7 m. ○ Tramo 2: Radio de 47 m con longitud de 26 m.

		○ Transición: Cambio de radio directo y tangencial, sin recta ni curva de transición (clotoide) entre ambos.
Peralte máximo	150 mm	145 mm
Rampa máxima	45,55 ‰	45,55 ‰
Radio mínimo de diagonales en vía general	85 m	100 m
Radio mínimo de diagonales en cocheras y playas	70 m	50 m
Radio mínimo de acuerdo vertical	1000 m	755 m
Tipo de acuerdo recta-curva	Clotoide o parábola cúbica	Clotoide o parábola cúbica
Rampa de peralte máxima	Valor nominal 2,2 mm/m Max. 5 mm/m	Valor nominal 2,2 mm/m Max. 5 mm/m
Inclinación de carriles	1/20	1/20
Desarrollo máximo de las curvas de radio mínimo en cocheras y playas	80 m	80 m
Tangente de diagonales y "bretelles" vía general	1/7 1/8.5 1/9	1/5 1/6.33 1/7 1/8.5 1/9
Tangente de diagonales y "bretelles en playa"	1/4.7 1/6.33 1/5 1/7	1/4 1/4.7 1/6.33

	1/8.5 1/9	1/5 1/7 1/8.5 1/9
Entrevía en recta nominal, entre ejes de vía	3774 mm	3288 mm
Altura nominal hilo de contacto desde nivel carriles	4350 mm	4150 mm
Tipos de carril, s/ UNE-EN 13674-1	54E1	54E1, 54E1T1

Nota: En las líneas de esta red de FMB existe algún caso de curvas y contracurvas sin recta de enlace y cuyas peores condiciones son: curva y contracurva de 110 y 110 m de radio respectivamente.

1.6.2 Suministro de energía

Actualmente los circuitos de alimentación del suministro de energía a catenaria de subcentrales distintas están interconectados, a efectos de reducir las caídas de tensión y favorecer la recuperación de energía.

En las líneas de FMB el suministro de energía se realiza por medio de la catenaria rígida (a excepción de los Talleres de Sant Genís, Santa Eulalia y Sagrera donde es catenaria flexible).

Las tensiones nominales de alimentación son -1.500 Vcc para la línea 1 y +1.200 Vcc para las líneas 2, 3 y 4 (previéndose una posibilidad de futura alimentación en estas líneas a 1.500 Vcc). Por lo tanto, los trenes ofertados deberán permitir trabajar indistintamente en una u otra tensión sin realizar modificación alguna.

A efectos del presente pliego, las tensiones nominales de alimentación de la red de FMB serán las indicadas para cada línea en el presente apartado.

Para las líneas alimentadas a 1.500 Vcc, serán de aplicación los valores de tensión establecidos en la UNE-EN 50163 para dicho sistema de alimentación.

Para las líneas alimentadas a 1.200 Vcc, al tratarse de una tensión nominal específica de la red de FMB no armonizada en la UNE-EN 50163, se establecen contractualmente los siguientes

límites de tensión, aplicando el mismo criterio porcentual utilizado para los sistemas de corriente continua normalizados:

- a) Tensión nominal de línea: U_n .
- b) Tensión máxima permanente de línea: $U_{max1} = U_n \times 1,20$.
- c) Tensión máxima no permanente de línea: $U_{max2} = U_n \times 1,30$.
- d) Tensión de corte del frenado regenerativo: $U_{regen,corte} = U_n \times 1,20$.

En consecuencia, los valores aplicables serán los siguientes:

Tensión nominal de línea	U_{max1}	U_{max2}	Tensión de corte del frenado regenerativo
1.200 Vcc	1.440 Vcc	1.560 Vcc	1.440 Vcc
1.500 Vcc	1.800 Vcc	1.950 Vcc	1.800 Vcc

Los valores anteriormente indicados son valores orientativos. Los valores definitivos serán ajustados por el Adjudicatario en fase de proyecto y validados por FMB para asegurar la compatibilidad con la infraestructura de FMB y la compatibilidad entre trenes de diferentes series que convivirán en la línea

El material rodante deberá ser compatible con dichos límites de tensión en todas las condiciones normales de explotación, incluyendo tracción, frenado eléctrico, frenado regenerativo, frenado reostático, funcionamiento de auxiliares y transición entre modos de frenado.

El frenado regenerativo deberá priorizarse frente al frenado reostático siempre que la tensión de línea sea inferior a la tensión de corte del frenado regenerativo definida para la línea correspondiente.

Cuando la tensión de línea alcance la tensión de corte del frenado regenerativo, el tren deberá limitar o inhibir automáticamente la devolución neta de energía a la línea y transferir, en caso necesario, la energía de frenado no recuperable al frenado reostático, manteniendo en todo momento la prestación de frenado requerida.

La transición entre frenado regenerativo y frenado reostático deberá ser automática, progresiva y sin discontinuidades apreciables en la prestación de frenado.

La tensión U_{max2} tendrá consideración de límite máximo no permanente de la red. No se admitirá utilizar U_{max2} como consigna normal de regulación del frenado regenerativo. El diseño del equipo de tracción y la estrategia de control deberán evitar que la tensión de línea supere

Umax1 como consecuencia de la devolución de energía regenerada por el tren, sin perjuicio de las condiciones transitorias admisibles de la red que puedan ser definidas por FMB.

El Adjudicatario deberá declarar y justificar en fase de proyecto los valores de tensión utilizados para la gestión del frenado regenerativo, incluyendo como mínimo:

- a) tensión de inicio de limitación del frenado regenerativo;
- b) tensión de reducción progresiva de la corriente regenerada;
- c) tensión de corte de devolución de energía a línea;
- d) tensión de transición a frenado reostático;
- e) tensión máxima admisible considerada;
- f) histéresis y márgenes de control aplicados;
- g) comportamiento previsto para las redes de 1.200 Vcc y 1.500 Vcc de FMB.

Dichos valores deberán ser aprobados en fase de proyecto por FMB antes de su validación definitiva.

1.6.3 Condiciones climatológicas

Los trenes y todos sus subsistemas deberán estar diseñados para operar correctamente en las condiciones ambientales correspondientes a la clase climática T3 definida en la norma UNE-EN 50125-1:2014, esto es, para temperaturas ambiente exteriores comprendidos entre -25 °C y +45 °C. Dichas condiciones deberán hacerse constar en la documentación técnica del tren.

Como condición adicional de explotación en la red FMB, se considerará operación en ambiente caluroso de hasta +50 °C, debiendo garantizarse en dichas condiciones la funcionalidad de los sistemas esenciales del tren y la ausencia de degradaciones funcionales incompatibles con la explotación prevista.

El diseño térmico de los componentes y equipos tendrá en cuenta su integración e instalación real en el tren, incluyendo ubicación, ventilación disponible, disipación térmica, radiación solar y condiciones de explotación previsibles. No se considerará únicamente la temperatura ambiente exterior.

En el interior de cofres, armarios y compartimentos cerrados podrán alcanzarse temperaturas significativamente superiores a la temperatura ambiente exterior, especialmente en zonas próximas a equipos de potencia o con ventilación limitada. A efectos de diseño, el Adjudicatario

deberá considerar que pueden alcanzarse temperaturas locales superiores a 70 °C y justificar la compatibilidad térmica de los equipos instalados en dichas condiciones.

Los equipos electrónicos embarcados deberán ser específicamente aptos para aplicación ferroviaria y cumplir la norma UNE-EN 50155 o norma equivalente aplicable, siendo compatibles con las condiciones ambientales definidas en el presente Pliego y con las condiciones reales de instalación previstas en el tren.

Los equipos electrónicos de potencia, incluyendo convertidores de tracción, convertidores auxiliares y equipos equivalentes, deberán cumplir la norma IEC 61287 o norma equivalente aplicable y estar dimensionados para las condiciones térmicas reales de instalación definidas en este Pliego, incluyendo las temperaturas ambientes y las temperaturas previsibles en cofres, armarios y compartimentos cerrados. El Adjudicatario deberá aportar las justificaciones, verificaciones y cálculos térmicos correspondientes, durante la fase de Ingeniería del proyecto.

El diseño del tren y de sus equipos deberá tener en cuenta variaciones bruscas de temperatura, condensaciones y condiciones de estacionamiento exterior prolongado. Se considerarán humedades relativas elevadas, incluyendo condiciones de hasta el 100 % de humedad relativa con condensación ocasional, sin degradación de la seguridad ni de las funcionalidades previstas.

Los materiales que conformen la estructura del tren y sus componentes deberán ser adecuados para operar en un entorno con humedad salina y atmósfera industrial, como es el caso del área metropolitana de Barcelona. Todos los elementos deberán disponer de las protecciones interiores y exteriores necesarias para evitar la aparición de corrosión, oxidación o degradación prematura, garantizando una vida útil mínima de 40 años en condiciones normales de explotación y mantenimiento.

El tren y sus componentes exteriores, así como los equipos instalados en zonas expuestas, deberán ser aptos para soportar condiciones nominales de nieve, hielo y granizo sin degradación de la seguridad ni de las funciones esenciales del tren. No se requiere diseño para condiciones severas. La justificación deberá tener en cuenta la integración e instalación real de los componentes en el vehículo.

A efectos de dimensionado térmico, se considerará como hipótesis de diseño que la temperatura ambiente en túnel puede alcanzar valores de hasta 35 °C, especialmente en condiciones degradadas de ventilación o estacionamiento prolongado.

1.7 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVICIO

1.7.1 Composición de los trenes

Los trenes estarán formados por cuatro coches motores, y un coche remolque en medio de la unidad. La composición tendrá la configuración MA₁-MB₁-R-MB₂-MA₂. Los puestos de conducción se encontrarán en los dos coches MAs.

La longitud máxima de la composición no podrá exceder a la longitud del tren más largo presente en FMB (87.124 mm entre caras de enganche automático).

1.7.2 Velocidades

La velocidad máxima nominal de servicio de los trenes será de 80 km/h en recta horizontal en AW3.

A efectos de diseño, todos los elementos mecánicos, eléctricos, neumáticos, de rodadura, suspensión, transmisión, freno, caja, bogies y equipos embarcados deberán estar dimensionados para soportar, sin deterioro alguno, pérdida de prestaciones ni envejecimiento prematuro, una velocidad máxima de 90 km/h en condición de carga AW3.

El Adjudicatario ajustará los equipos para conseguir las prestaciones solicitadas a los valores reales de adherencia.

1.7.3 Aceleraciones y deceleraciones

a) Aceleraciones y deceleraciones a efectos de dimensionamiento

En recta horizontal, en vía nivelada, en el intervalo de velocidades de 0 a 40 km/h, con todos los equipos de tracción disponibles y para las condiciones de carga definidas en el presente pliego, el tren deberá alcanzar una aceleración media mínima de 1,2 m/s². El cumplimiento se justificará mediante cálculo de prestaciones de tracción y se verificará, cuando proceda, mediante ensayo en vía conforme al procedimiento de pruebas aprobado en fase de proyecto.

El paso de coche parado hasta la velocidad máxima y de velocidad máxima a coche parado, se realizará de tal forma que la variación de aceleración (jerk máximo) no supere 0,8 m/s³, incluyendo el tirón en el arranque y frenada, cambios de aceleración, parada y paso a deriva. La aceleración y el jerk podrán modificarse mediante software por parte de FMB.

El freno de emergencia requerirá validación específica en fase de proyecto, justificando deceleración, tiempos de respuesta, distancia de frenado y compatibilidad funcional con la señalización embarcada.

La aceleración residual será de al menos 5 cm/s^2 a la velocidad máxima nominal de servicio de 80 km/h, funcionando en modo normal, sobre vía a nivel y para la condición de carga correspondiente a la masa de diseño bajo carga útil normal. El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto, mediante cálculo basado en las curvas de esfuerzo de tracción y en la resistencia al avance de la unidad, que en dichas condiciones se alcanza la velocidad máxima de diseño y se cumple la aceleración residual exigida..

Las prestaciones de tracción en función de los valores de tensión de catenaria se ajustarán a lo solicitado en el presente pliego.

Las prestaciones en tracción deben ser tales que un tren en condición de carga nominal AW3 pueda ser remolcado o empujado por un tren en vacío AW0 por la máxima rampa presente en FMB en condiciones de mínima adherencia.

El Adjudicatario entregará en fase de proyecto los siguientes perfiles/curvas de prestaciones para cada una de las tensiones de catenaria definidas en el proyecto (ver apartado 1.5):

- Perfil de “Esfuerzo de tracción contra Velocidad del tren”, para tracción y freno eléctrico, para tensión nominal, mínima y máxima. En la gráfica se sobrepondrá la característica de resistencia al avance de la unidad en función de la velocidad, determinada mediante cálculo para la condición de carga correspondiente a la masa de diseño bajo carga útil normal, para horizontal y pendientes del 5, 10, 20, 30, 40 y 45 milésimas. Las fórmulas de resistencia al avance podrán ser las que normalmente utilice el Adjudicatario para este tipo de cálculo.
- Perfiles de “Consumo contra Tensión de catenaria”, para tracción y freno eléctrico.
- Perfiles de esfuerzo de tracción en llanta de la unidad frente a la velocidad [$F = f(v)$], determinados mediante cálculo, para las tensiones nominal, mínima y máxima de alimentación. En dichas curvas se superpondrá la resistencia al avance de la unidad frente a la velocidad, determinada mediante cálculo para

la condición de carga correspondiente a la masa de diseño bajo carga útil normal.

El cumplimiento de las prestaciones indicadas se verificará mediante los correspondientes ensayos en vía en fase de proyecto.

En recta horizontal, en toda la gama de velocidades de 80 a 0 km/h, en cualquier estado de carga de pasaje y con todos los coches del tren funcionando correctamente, se conseguirá el mantenimiento del esfuerzo de freno con una deceleración de $1,2 \text{ m/s}^2$ con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

Sin perjuicio de que las prestaciones nominales de frenado se establecen para la velocidad máxima nominal de servicio de 80 km/h, el sistema de freno deberá justificarse adicionalmente frente al escenario excepcional de sobrevelocidad a 90 km/h, conforme a lo indicado en el apartado relativo al equipo de freno.

La deceleración de emergencia será de $1,3 \text{ m/s}^2$ con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

El tren deberá ser capaz de circular en condiciones de AW4 sin comprometer la deceleración de emergencia la cual será de $1,3 \text{ m/s}^2$ con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

En el cálculo de prestaciones de frenado conforme a la norma EN 14531, la adherencia rueda-carril requerida no excederá $\mu \leq 0,14$ en ninguna de las condiciones de carga consideradas para la verificación del frenado.

Este límite se verificará, como mínimo, para el freno de emergencia y para el freno de servicio máximo, calculados sin aportación de freno eléctrico, es decir, considerando únicamente el freno de fricción.

La verificación de los límites de adherencia rueda-carril se realizará mediante cálculo con el diámetro mínimo de rueda y para las tres condiciones de carga: carga mínima, carga normal y carga máxima de frenado. Todos los valores de μ se redondearán a dos decimales.

El cumplimiento de estas prestaciones y sus tolerancias se demostrará mediante ensayo en vía según norma UNE EN 13452-2, cumplimentada por la U.I.C 544-1 en aquellos aspectos que no queden suficientemente definidos en ésta.

Las prestaciones de frenado del tren se determinarán mediante cálculo conforme a EN 14531-1 o EN 14531-2, considerando vía nivelada. Cada cálculo se efectuará para diámetros de rueda correspondientes a rueda nueva, seminueva y desgastada, e incluirá la justificación de los coeficientes de fricción adoptados por el equipo de freno de fricción y el cálculo del nivel de adherencia rueda-carril requerido. El cálculo se realizará en fase de Ingeniería del proyecto y se revisará, en su caso, tras los ensayos de validación, incorporándose el resultado final a la documentación técnica del vehículo.

El cálculo de las prestaciones de frenado se efectuará para los dos modos de control siguientes:

1) Freno de emergencia

El Adjudicatario realizará el cálculo de las prestaciones del freno de emergencia, determinando el perfil de deceleración, el tiempo de respuesta equivalente, el tiempo de retardo y las distancias de parada para las velocidades iniciales aplicables a la unidad. Para el presente proyecto, con velocidad máxima de diseño de 80 km/h, se considerarán al menos las velocidades iniciales de 30 km/h y 80 km/h.

El cálculo del freno de emergencia se efectuará en los siguientes casos:

- a) Modo normal: sin averías en el sistema de frenado y con valores nominales de los coeficientes de fricción del freno de fricción, correspondientes a condiciones secas.
- b) Modo degradado por fallo único: considerando el fallo único que produzca la mayor distancia de parada, identificando expresamente el componente implicado, el modo de fallo y, si se conoce, su índice de fallo.
- c) Condiciones degradadas ambientales: con valores reducidos del coeficiente de fricción, considerando los valores límite ambientales de temperatura y humedad. Para freno de disco con pastillas se adoptarán los criterios aplicables de EN 15328 y, para freno de zapata o bloque, los de EN 16452.

El cálculo del freno de emergencia se realizará para las tres condiciones de carga siguientes:

- Carga mínima: masa de diseño en orden de trabajo.

- Carga normal: masa de diseño bajo carga útil normal.
- Carga máxima de frenado: masa de diseño bajo carga útil excepcional, correspondiente a la condición AW4 definida en el presente pliego. Esta condición se considerará la carga máxima de frenado contractual para la verificación de las prestaciones del freno de emergencia.

Para cada condición de carga se tomará como resultado de referencia el caso más desfavorable, es decir, el que dé lugar a la mayor distancia de parada en modo normal a la velocidad máxima de diseño, una vez revisado, en su caso, con los resultados de los ensayos. Dicho resultado quedará recogido en la documentación técnica del vehículo.

2) Freno de servicio máximo

El cálculo de las prestaciones del freno de servicio máximo se efectuará conforme a EN 14531-1 o EN 14531-2, en modo normal, con valores nominales de los coeficientes de fricción del freno de fricción, para la condición de carga masa de diseño bajo carga útil normal, a la velocidad máxima de diseño. El resultado incluirá, como mínimo, la curva de deceleración y la distancia de parada correspondiente a dicha condición.

El Adjudicatario entregará un informe de cálculo de prestaciones de frenado que incluirá, como mínimo: hipótesis de partida, masas consideradas, diámetros de rueda, coeficientes de fricción utilizados en condiciones normal y degradada, nivel de adherencia requerido, fallo único analizado, tiempos de respuesta y de retardo, así como las tablas y curvas de deceleración y las distancias de parada obtenidas para cada caso. La validación del sistema de freno y los ensayos asociados se realizarán conforme a EN 13452-2, y el equipo de freno neumático deberá cumplir los requisitos aplicables de EN 13452-1.

b) Aceleraciones y deceleraciones en servicio

La aceleración será regulable en el taller por parte de FMB entre los valores 0,8 y 1,2 m/s².

La deceleración máxima de 1,2 m/s² con la tolerancia según EN 13452 será aplicable hasta ese valor por el personal de conducción, en función de la posición del manipulador de mando. El jerk máximo en el proceso de arranque y frenado, será de 0,8 m/s³.

Adicionalmente, las prestaciones de frenado de la unidad (deceleración = $F(\text{velocidad})$ y tiempo de respuesta equivalente) se determinarán mediante cálculo conforme a EN 14531-1 o EN 14531-2, considerando vía nivelada, para diámetros de rueda correspondientes a ruedas nuevas, seminuevas y desgastadas, e incluyendo el cálculo del nivel de adherencia rueda-carril necesario.

En condiciones normales de explotación, tanto en tracción como en freno de servicio, el jerk máximo no superará $0,8 \text{ m/s}^3$, incluyendo arranque, cambios de aceleración, transición a deriva y parada, con el fin de garantizar el confort del pasaje.

Este requisito no será de aplicación al freno de emergencia, cuyo diseño y ajuste vendrán determinados por los requisitos de seguridad, prestaciones de frenado, tiempos de respuesta y compatibilidad con los sistemas ATP/ATO.

Las aceleraciones y deceleraciones citadas serán uniformes e independientes de la carga y perfil de la línea y, en ningún caso, se tendrán en cuenta para obtenerlas el empleo de areneros o similares.

El cumplimiento de estas prestaciones y sus tolerancias se demostrará mediante ensayo en vía según norma UNE EN 13452-2, cumplimentada por la U.I.C 544-1 en aquellos aspectos que no queden suficientemente definidos en ésta.

1.7.4 Condiciones degradadas de explotación.

El material móvil deberá garantizar su funcionamiento seguro y operativo incluso en condiciones degradadas, manteniendo las prestaciones mínimas necesarias para la circulación y evacuación segura del pasaje, sin comprometer la integridad del tren ni la infraestructura.

Se establecen las siguientes condiciones que deberán cumplirse en caso de fallo parcial o total de uno o varios equipos esenciales:

1.7.4.1 Fallo de equipos de tracción/frenado

Con un 75% de la capacidad instalada de tracción / freno eléctrico de servicio disponible, el tren deberá ser capaz de arrancar, frenar y circular en condiciones seguras en cualquier condición de carga, adherencia y rampa del trazado definidas en el proyecto, manteniendo prestaciones degradadas compatibles con la explotación. En fase de proyecto, el Adjudicatario justificará la aceleración, deceleración y velocidad máxima alcanzables en esta condición.

Con un 50 % de la capacidad instalada disponible, el tren deberá poder alcanzar la estación más próxima en condiciones seguras y continuar posteriormente hasta depósito sin necesidad de intervención externa, con las limitaciones operativas que resulten justificadas en proyecto.

Con un 25 % de la capacidad instalada disponible, deberá garantizarse, sin rebasar las condiciones límite de los elementos de la unidad, la circulación del tren hasta la estación más próxima para el desalojo de viajeros y, posteriormente, su marcha hasta depósito en las condiciones justificadas en proyecto. En fase de proyecto se analizará la máxima rampa, condición de carga y velocidad de circulación para las que puede cumplirse este requisito.

En todo caso, la indisponibilidad total del freno eléctrico no podrá comprometer la seguridad de la explotación, debiendo el freno neumático asumir automáticamente la función de frenado requerida conforme a lo especificado en el presente Pliego.

1.7.4.2 Fallo de otros equipos críticos

Ante el fallo de un sistema o componente crítico el tren deberá disponer de modos de funcionamiento degradado que garanticen la seguridad, funcionalidad básica y la continuidad del servicio. Se detallan a continuación a modo de ejemplos los modos degradados esperados por sistema:

- Freno eléctrico: Ante un fallo total del freno eléctrico, el freno neumático deberá activarse automáticamente, sin necesidad de intervención del personal de conducción, asumiendo la función de frenado requerida para garantizar la seguridad de la explotación y la continuidad de la marcha hasta completar el trayecto en curso o alcanzar una estación de evacuación, conforme a las condiciones definidas en el presente Pliego. El Adjudicatario deberá justificar mediante cálculo y ensayos las prestaciones residuales alcanzables, la capacidad térmica del sistema y, en su caso, las limitaciones operativas aplicables.
- Freno neumático: En caso de fallo de una válvula o circuito, el sistema deberá aislar el segmento afectado y garantizar la presión suficiente en el resto de la red para mantener el frenado seguro.
- Puertas de acceso: Si una o varias puertas fallan, el sistema deberá ser capaz de continuar la operación con el resto de puertas funcionales, mediante actuación del personal a la conducción.

- Sistema informático del tren: Ante pérdida total o parcial del sistema informático del tren, existirá una funcionalidad de Modo socorro del Sistema Informático, activable desde ambos puestos de conducción, que permita al tren circular por sus propios medios, exclusivamente en conducción manual y en condiciones seguras hasta el taller de mantenimiento. La activación del modo socorro deberá prevalecer sobre cualquier orden, estado o fallo preexistente del sistema informático, y aislar o desactivar automáticamente todos aquellos equipos, funciones, comunicaciones o señales de la red informática que puedan impedir o degradar la movilidad segura del tren en este modo, sin necesidad de bypass adicional sobre equipos electrónicos. El cumplimiento de esta funcionalidad deberá quedar garantizado para cualquier estado del sistema informático embarcado, incluyendo fallos latentes, bloqueos, estados incoherentes, pérdida parcial de comunicaciones, aperturas o cortocircuitos esporádicos de bus, y deberá justificarse mediante análisis funcional y ensayos específicos de validación.
- Sistemas de control y señalización (ATP/ATO): Ante fallos el personal a la conducción conmutará a modo manual, de acuerdo con el procedimiento operativo de FMB.
- Alimentación auxiliar: En caso de pérdida de alimentación auxiliar por fallo de un convertidor, deberán mantenerse operativos todos los servicios del tren en modo degradado.
- Aire Acondicionado: En caso de fallo del compresor, el sistema deberá mantener la ventilación de emergencia.
- Iluminación interior: En caso de fallo parcial o total, deberá activarse automáticamente la iluminación de emergencia mediante baterías, asegurando la visibilidad mínima en zonas de pasaje y cabina.
- Sistema de detección de incendios: Ante un fallo de un sensor o de una unidad de control, deberán activarse alarmas locales y registrarse el evento en los sistemas de diagnóstico y el sistema de detección debe seguir funcionando con normalidad.
- Pantógrafo: En caso de fallo de un pantógrafo se podrá aislar eléctrica y mecánicamente. El sistema deberá permitir la operación con el pantógrafo redundante y el fallo deberá notificarse al personal de conducción

1.7.4.3 Requisitos generales ante fallo de equipos

El fallo de un equipo no podrá comprometer la seguridad de la circulación ni impedir la evacuación segura del pasaje.

El sistema deberá contar con mecanismos de respaldo (backup) o modos degradados que permitan continuar el servicio, al menos, hasta la estación más próxima, y poder retirar el tren del servicio hasta la base de mantenimiento más próxima.

Se deberá garantizar la monitorización automática del fallo, su registro y su notificación al conductor y al sistema de control centralizado.

Todos los modos degradados deberán estar justificados por el Adjudicatario en fase de proyecto, incluyendo análisis de riesgo, procedimientos de recuperación y demostración de cumplimiento en pruebas funcionales.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar a FMB:

- Una matriz de modos degradados, detallando por cada subsistema los efectos del fallo, las capacidades residuales, las acciones de mitigación y las condiciones de recuperación.
- Evidencias del cumplimiento de estos requisitos mediante simulaciones, cálculos y ensayos, en las condiciones más desfavorables previstas en el trazado.

Dichos documentos deberán ser validados por FMB en fase de Ingeniería del proyecto. Freno de emergencia mínimo garantizado (GEBR)

La deceleración mínima garantizada (GEBR siglas en inglés) no será inferior a $0,9 \text{ m/s}^2$ considerando las siguientes hipótesis:

- Distribución de cargas: El coche más pesado sin freno se considerará con carga AW2. El resto de los coches en carga AW0.
- Un coche sin freno. El coche debe ser el más pesado de la composición.
- Sin resistencia al avance.
- Vía Recta: pendiente 0%.

- Sistema antipatinaje (WSP) activo.
- Adherencia rueda carril 14%.

El Adjudicatario demostrará este valor en fase de proyecto durante las pruebas tipo del tren.

La deceleración mínima garantizada en freno de emergencia será una prestación contractual del tren. El Adjudicatario deberá justificarla mediante cálculo conforme a UNE-EN 14531-1/2 y verificarla mediante ensayos en vía conforme a UNE-EN 13452-2, considerando las hipótesis de cálculo definidas por FMB para carga, diámetro de rueda, adherencia rueda-carril, disponibilidad de freno, pendiente, resistencia al avance y funcionamiento del WSP.

En fase de proyecto, el Adjudicatario calculará el valor de GERB en mojado para una adherencia rueda-carril del 11 %, debiendo demostrar que dicho valor no será inferior a 0,7 m/s².

La demostración se realizará mediante cálculo y/o simulación validados experimentalmente, complementados con ensayos específicos de baja adherencia y de funcionamiento del WSP, conforme a una metodología de ensayo propuesta por el Adjudicatario y aprobada por FMB.

1.7.5 Compatibilidad electromagnética

El Adjudicatario deberá garantizar que su tren cumple los requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Para ello presentará durante la fase de ingeniería del proyecto un plan de pruebas CEM aprobado por FMB, que contemple al menos:

- Cumplimiento de las normas UNE EN 50121, o norma que la sustituya.
- Compatibilidad con sistemas de detección de trenes mediante circuito de vía conforme a UNE CLC/TS 50238 2:2020.
- Medición de campos magnéticos conforme a EN 50500:2008/A1:2015, respetando los límites de la Directiva 2013/35/UE y la Recomendación 1999/519/CE.
- Cumplimiento de la norma UNE-EN 45502-2-1:2005, o norma que la sustituya.
- Cumplimiento de EN 50592:2016 y UNE-EN 50238-1:2015, , o norma que la sustituya.

Todos los cables de alta que pasen por el interior de la caja / coche deberán estar apantallados.

También deberá respetarse lo dispuesto en el Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, sobre protección del dominio público radioeléctrico y salud frente a emisiones. Asimismo, todos los cables de alta tensión dentro del coche deberán ir debidamente apantallados según criterios de la norma EN 50343 para garantizar inmunidad interna y minimizar emisiones.

El tren deberá cumplir la normativa aplicable en materia de compatibilidad electromagnética y exposición humana a campos electromagnéticos, incluyendo, en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato, las normas UNE-EN 50121-3-2, UNE-EN 50500 y UNE-EN 45502-2-1, o aquellas que las sustituyan. El Adjudicatario justificará dicho cumplimiento mediante la documentación técnica, análisis y ensayos que resulten aplicables.

1.7.6 Características de la operación

En la etapa inicial de servicio de estos trenes el modo de conducción habitual será GOA2, es decir conducción en modo ATP/ATO.

Está previsto que durante la vida de los trenes estos deban ser transformados para evolucionar a un modo de conducción GOA4, es decir conducción automática sin presencia de personal de conducción en tren.

1.7.6.1 Transformación cabina a GOA4

Se valorará el precio de la transformación de cabina a GOA4, y deberá incluir necesariamente las siguientes intervenciones:

- Eliminación del pupitre de conducción fijo, asiento abatible y asiento de conducción, asegurando la reversibilidad del montaje en caso necesario.
- Instalación de un pupitre escamoteable que mantenga toda la funcionalidad del original, con acceso mediante herramienta de seguridad (por ejemplo, llave de cuadradillo) para conducción en situaciones excepcionales.
- Eliminación del tabique de separación cabina/sala de pasaje, con integración estética del espacio liberado y reconstrucción del pavimento, techo y paneles laterales de forma continua y homogénea con el salón.

- Eliminación de puertas laterales de cabina y recubrir interior y exteriormente con elementos de interiorismo completamente integrados. No se aceptarán soluciones provisionales ni de ocultación parcial.
- Desmontaje del equipo de aire acondicionado específico de cabina y adaptación del sistema de climatización general para garantizar el confort térmico de la zona anteriormente ocupada por la cabina.
- Instalación de elementos auxiliares como apoyos isquiáticos, asideros, y nuevas tapas o recubrimientos, siguiendo criterios de ergonomía y seguridad para el pasaje.
- La puerta frontal de evacuación deberá configurarse como una vía de evacuación frontal de pasaje con dimensiones equivalentes a soluciones existentes en FMB, garantizando en todo caso un paso libre útil no inferior a 900 mm en la configuración real de evacuación. La pasarela/rampa asociada deberá permitir la evacuación segura del pasaje, incluyendo personas con movilidad reducida asistidas, y su diseño deberá ser justificado en fase de proyecto considerando anchura útil, pendiente, resistencia, superficie antideslizante, barandillas/enclavamientos y procedimiento de evacuación.
- Actualización del sistema informático del tren para reflejar la nueva configuración de pupitre escamoteable, eliminación de elementos físicos (pulsadores, lámparas, etc.) y modificación de funciones que pasan a gestionarse desde la pantalla de ayuda a la conducción.
- Eliminación o integración funcional de todos los elementos electrónicos y mecánicos propios de conducción manual (soporte, cortina frontal, detectores de incendios de cabina, etc.).
- Entrega de los elementos desmontados a FMB para su posible reutilización como repuestos.

El Adjudicatario deberá entregar en fase de proyecto:

- Descripción detallada del proceso de desmontaje y transformación.
- Modelado 3D de la zona afectada antes y después de la transformación.
- Planos técnicos de detalle: configuración GoA2, configuración GoA4, integración interior, cableado y HVAC.

- Memoria funcional de adaptación del sistema informático del tren.
- Tiempo de implantación.

1.8 NORMATIVA Y VISADO DEL PROYECTO

El tren ofertado deberá cumplir con toda la normativa especificada en el presente pliego, en sus versiones más recientes y vigentes en el momento de la validación del proyecto por FMB. En aquellos casos en que no se haga referencia expresa a una norma concreta, se entenderá que todos los elementos suministrados deberán cumplir, por este orden de preferencia, con los estándares siguientes: UNE, EN, UIC, CEI, DIN, NF.

Durante el desarrollo del proyecto, FMB podrá requerir el cumplimiento de especificaciones técnicas adicionales o propias, en función de las necesidades específicas del servicio o de nuevas disposiciones regulatorias aplicables.

El material móvil ofertado deberá cumplir en todo caso con la legislación vigente en el ámbito europeo, estatal, autonómico y local, tanto en materia técnica como de seguridad, medio ambiente, accesibilidad, protección de datos u otras áreas normativas de aplicación.

Como máximo a los veinte (20) meses de la firma del contrato de cada lote, el Adjudicatario deberá presentar el visado del proyecto ante el Colegio de Ingenieros Industriales, como requisito previo para la obtención de la autorización de entrada en servicio comercial emitida por la Autoridad Ferroviaria competente.

Asimismo, se deberán entregar a FMB tres (3) copias visadas de toda la documentación técnica presentada para dicho visado ante el Colegio profesional.

1.9 CAPACIDAD TRENES

La capacidad de pasaje indicada a continuación representa la capacidad mínima que debe ofrecer la caja de pasaje del tren. Este valor ha sido determinado en base a la configuración funcional prevista (MA1–MB1–R–MB2–MA2), considerando una optimización del espacio interior y el cumplimiento de los requisitos de accesibilidad, gálibo, confort y seguridad. Los valores incluyen tanto la capacidad de pasajeros sentados como de pie, según distintos niveles de carga (AW0 a AW4). Esta capacidad no podrá ser reducida respecto a los valores aquí definidos. El diseño del tren deberá garantizar como mínimo las capacidades siguientes:

- ancho de vía 1.435 mm:

COCHE	Asientos	PMR	Capacidad Asientos	Sentados + AW1	Sentados + AW2	Sentados + AW3	Sentados + AW4
MA1	20	2	20	71	123	175	226

MB1	24	0	24	77	129	182	234
R	20	0	20	76	132	187	243
MB2	24	0	24	77	129	182	234
MA2	20	2	20	71	123	175	226
TOTAL	108	4	108	372	636	901	1163

➤ ancho de vía 1.674 mm:

COCHE	Asientos	PMR	Capacidad Asientos	Sentados + AW1	Sentados + AW2	Sentados + AW3	Sentados + AW4
MA1	20	2	20	84	148	212	277
MB1	24	0	24	89	155	220	285
R	20	0	20	88	157	226	294
MB2	24	0	24	89	155	220	285
MA2	20	2	20	84	148	212	277
TOTAL	108	4	108	434	763	1090	1418

La capacidad de viajeros se calculará conforme a la norma UNE-EN 15663 vigente.

A efectos del cálculo de la superficie disponible para viajeros de pie, se aplicarán los siguientes criterios:

- El cálculo se realizará considerando el tren en configuración normal de explotación y con todas las puertas de acceso cerradas.
- La superficie disponible para viajeros de pie se determinará a partir de la superficie útil en planta de las áreas destinadas a viajeros.
- Se incluirán los pasos de intercurrencia entre vehículos.
- Se incluirán los espacios reservados para usuarios de silla de ruedas y zona multifuncional.
- Se incluirá la totalidad de la superficie comprendida entre las caras interiores de las puertas de pasaje del vehículo cerradas, incluyendo las superficies situadas sobre estribos fijo interior, siempre que dichas superficies sean accesibles y utilizables por los viajeros durante la explotación normal.
- No se considerarán las zonas cuya altura libre sea inferior a 1.850 mm.
- Se excluirán las superficies ocupadas por asientos, respaldos, apoyabrazos, mamparas, armarios, equipos y demás elementos fijos.
- Se excluirá una banda de 350 mm de profundidad delante de cada asiento destinada al espacio para los pies de los viajeros sentados. El asiento incluyendo respaldo deberán de cumplir con las características definidas en este pliego.

- La capacidad de pasajeros de pie se determinará para densidades de ocupación de 4, 6 y 8 pasajeros/m², correspondientes a los estados de carga AW2, AW3 y AW4 respectivamente.

Se valorará la mayor capacidad de pasaje ofertada por el licitador, siempre que dicha capacidad se obtenga mediante una optimización real del diseño interior del tren y no mediante un incremento de las dimensiones exteriores de la caja.

A efectos de valoración, únicamente se considerará la capacidad obtenida dentro del contorno definido en este apartado del Pliego, que tendrá carácter de límite máximo para este criterio de valoración. Asimismo, la solución ofertada deberá cumplir íntegramente los requisitos de gálibo establecidos en el apartado 1.10 del presente Pliego.

La capacidad puntuable será la capacidad total del tren en estado AW3, calculada conforme al método de cálculo de capacidad definido en este apartado y calculada como la suma de los viajeros sentados y los viajeros de pie obtenidos aplicando una densidad de 6 viajeros/m².

No se admitirá, a efectos de puntuación, ninguna mejora de capacidad que derive directa o indirectamente de:

- incremento de la anchura, altura, longitud, sección o volumen exteriores de la caja;
- ocupación de espacios exteriores al contorno aquí definido;
- reducción de los márgenes de gálibo estático, cinemático o dinámico;
- reducción de la profundidad útil del cojín de asiento, entendida como la dimensión del plano de asiento destinada al apoyo efectivo del usuario definida en este Pliego.
- introducción de condicionantes de explotación, circulación, mantenimiento, paso por talleres, cocheras, enlaces, andenes o cualquier otra instalación de FMB;
- reducción o empeoramiento de los requisitos de accesibilidad, evacuación, seguridad, ergonomía, confort, mantenibilidad o funcionalidad establecidos en el Pliego.

El Adjudicatario deberá declarar las capacidades resultantes en AW2 y AW4, si bien la puntuación en fase de licitación se calculará sobre AW3 por considerarse una condición representativa de alta ocupación en explotación.

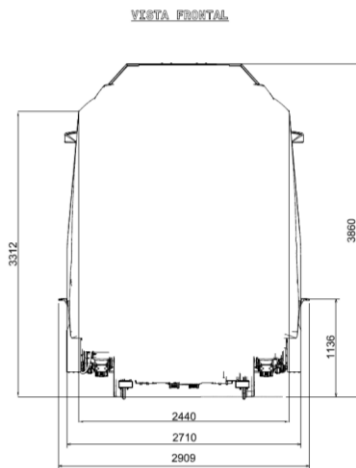
Para la determinación de la superficie útil de viajeros de pie no podrán computarse como superficie puntuable las zonas ocupadas por asientos, mamparas, armarios, cofres, equipos, canalizaciones, respaldos, apoyabrazos, barridos de puertas, zonas no accesibles en explotación

normal, zonas con altura libre inferior a la exigida, ni la banda destinada al espacio para los pies de los viajeros sentados definida en este Pliego (350 mm).

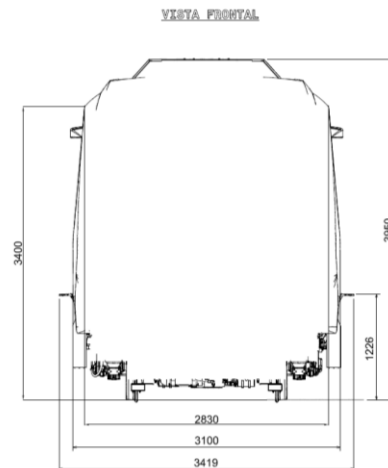
Cualquier oferta cuya mejora de capacidad requiera modificar, ampliar, reinterpretar o superar el contorno de referencia definido en este Pliego no será considerada a efectos de puntuación en este criterio.

La capacidad finalmente validada en fase de proyecto y recepción no podrá ser inferior a la capacidad ofertada. En caso de reducción no autorizada de la capacidad ofertada, FMB aplicará las penalizaciones previstas contractualmente.

El contorno aquí definido refleja las dimensiones generales de los trenes actualmente en servicio en la red de FMB, y debe considerarse como base orientativa para el diseño inicial. Su función es establecer un marco de referencia en fase de oferta.



Contorno de referencia ancho vía 1.435 mm



Contorno de referencia ancho vía 1.674 mm

1.10 GÁLIBOS

El tren deberá cumplir con los gálibos estático, cinemático y dinámico aplicables a la red de FMB en la que deba circular, incluyendo líneas, enlaces, depósitos, talleres y cocheras, conforme a la norma UNE-EN 15273-2 y demás normas que resulten de aplicación.

Los trenes objeto de la presente licitación deberán inscribirse dentro de las envolventes de gálibo correspondientes a los trenes que circulan actualmente por las líneas de FMB. A estos efectos, se tomarán como referencia los siguientes trenes actualmente en servicio:

- Línea 1: tren de la serie 8000.
- Línea 2: tren de la serie 9000.

- Línea 3: tren de la serie 7000.
- Línea 4: tren de la serie 9000.

Durante la fase de proyecto, FMB suministrará al Adjudicatario la información técnica disponible y necesaria relativa a dichos trenes de referencia y a la infraestructura existente, con el fin de permitir la realización de los estudios de gálibo correspondientes.

El Adjudicatario será responsable de realizar los estudios completos de gálibo de las líneas 1, 2, 3 y 4, incluyendo gálibo estático, cinemático y dinámico del tren, así como la verificación específica del gálibo de caja, gálibo de pantógrafo y gálibo bajo tren. El estudio deberá contemplar la compatibilidad con túneles, estaciones, andenes, piquetes, enlaces, depósitos, talleres, cocheras, catenaría, aparatos y equipos de vía, canaletas, elementos situados entre carriles y demás elementos de infraestructura que puedan resultar críticos.

A efectos de obtención de datos de infraestructura, el Adjudicatario deberá realizar el escaneo láser 3D de alta resolución de los túneles e infraestructura afectada de la línea 2. Para las líneas 1, 3 y 4, FMB suministrará al Adjudicatario los escaneos, modelos, secciones, nubes de puntos o información geométrica disponible. El Adjudicatario será responsable de revisar, tratar, adaptar e integrar dicha información en sus modelos y estudios de gálibo, debiendo comunicar a FMB cualquier carencia, incoherencia o insuficiencia detectada que pueda afectar a la validez del estudio.

La validación comprenderá simulación dinámica multicuerpo validada, considerando como mínimo:

- Entrega de expresiones de ocupación estática, cinemática y dinámica del tren, con cálculo y justificación detallada de parámetros conforme a UNE-EN 15273-2, incluyendo la identificación de secciones críticas de la infraestructura.
- Estudios bajo condiciones operativas representativas, incluyendo tara, carga máxima, desgaste de ruedas, tolerancias de suspensión, desinflado de balonas, degradaciones realistas y rangos de velocidad definidos para la explotación.
- Modelado y simulación basados en los escaneos, modelos o información geométrica disponible de la infraestructura afectada, incluyendo el escaneo ejecutado por el Adjudicatario en L2 y la información suministrada por FMB para L1, L3 y L4.
- Análisis específico del gálibo del pantógrafo en las condiciones relevantes de explotación, incluyendo posición elevada, posición abatida, movimientos dinámicos,

tolerancias de montaje, desgaste y condiciones de interacción con la línea aérea de contacto.

- Análisis específico del gálibo bajo tren, considerando los equipos instalados bajo bastidor, cofres, canalizaciones, elementos suspendidos, bogies, equipos de freno, captadores, antenas, elementos de retorno de corriente y cualquier otro componente situado en la zona inferior del vehículo.
- Análisis de interferencias en piquetes, cruces con trenes de la misma serie y cruces con otras series actualmente en circulación.
- Proceso de ajuste de parámetros y validación cruzada con los datos obtenidos en pruebas reales de campo, cuando estas sean requeridas por FMB.

Durante la fase de proyecto se deberá entregar, como mínimo:

- Informe completo de gálivos para las líneas 1, 2, 3 y 4, incluyendo gálibo de caja, gálibo de pantógrafo y gálibo bajo tren.
- Parámetros actualizados y gálibo validado final del tren.
- Envolventes estáticas, cinemáticas y dinámicas del tren, diferenciando expresamente la envolvente general de caja, la envolvente del pantógrafo y la envolvente bajo tren.
- Modelos digitales y/o nubes de puntos utilizados en el estudio, diferenciando los datos obtenidos por el Adjudicatario en L2 y los datos suministrados por FMB para L1, L3 y L4.
- Resultados completos de evaluación dinámica y compatibilidad con la infraestructura.
- Identificación de secciones críticas y márgenes disponibles frente a túneles, andenes, piquetes, catenaria, aparatos de vía, canaletas, equipos de vía, elementos situados entre carriles y demás elementos de infraestructura.
- Definición y justificación de perfiles de velocidad, restricciones o condiciones particulares de circulación, en caso de que fueran necesarias.
- Informe completo de resultados de las pruebas experimentales que se realicen, incluyendo instrumentación, metodología y análisis de resultados.
- Secciones transversales de túneles y demás estructuras con envolventes acotadas, generadas a intervalos máximos de 5 metros o con mayor detalle en las zonas críticas.

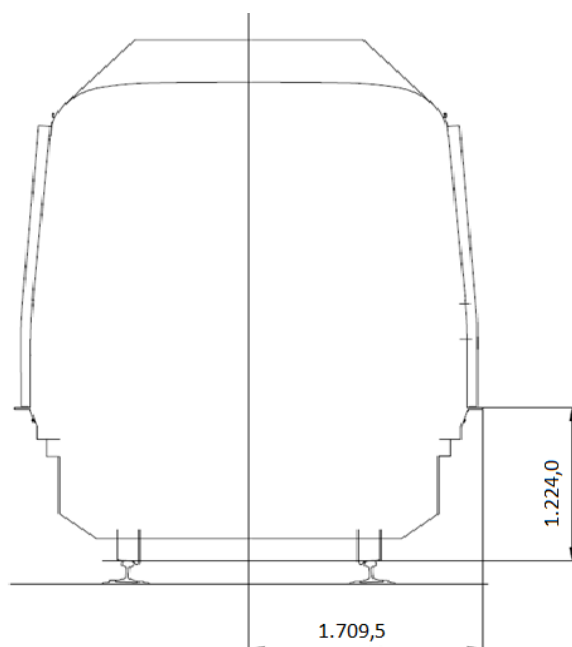
Cualquier desviación respecto a las envolventes de gálibo de los trenes de referencia deberá ser identificada, justificada técnicamente y sometida a validación expresa de FMB. No se admitirá ninguna solución que reduzca la compatibilidad de circulación respecto a los trenes actualmente en servicio en las líneas afectadas, salvo aceptación expresa de FMB.

1.11 ACCESIBILIDAD UNIVERSAL

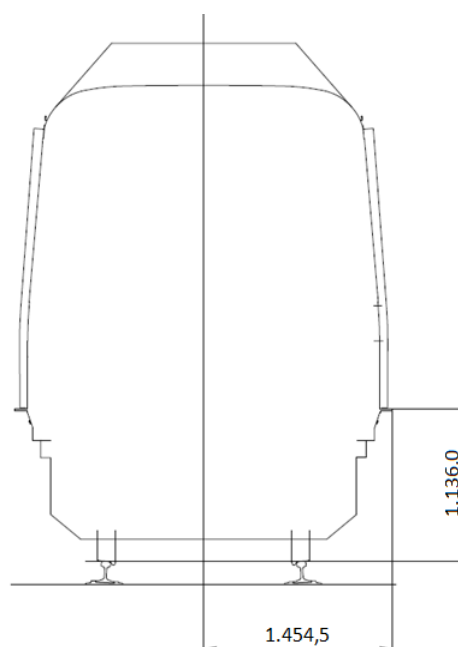
El material móvil a suministrar deberá cumplir la legislación vigente en materia de accesibilidad universal: el Decreto 209/2023 de ámbito autonómico, el Real Decreto 1544/2007 de ámbito estatal y el Reglamento 1300/2014 (ETI PMR Ferroviaria) de ámbito europeo.

En cuanto al Anexo VI.2 “Fronteras entre el material móvil y el andén” del citado Real Decreto, el tren deberá cumplir los siguientes requerimientos:

	L1	L2-L3-L4
Altura de la parte superior de la pisadera de puerta respecto al centro del plano de vía (eje y):	1.224,0	1.136,0
Distancia del centro del plano de vía al extremo de la pisadera de puerta (eje x):	1.709,5	1.454,5



Distancias de pisadera para L1



Distancias de pisadera para L2, L3 y L4

1.11.1 Puertas accesibles

Se dispondrá de puertas accesibles en cada uno de los extremos de la unidad a ambos lados (total 4 puertas por tren) que comuniquen directamente con las zonas reservadas para las personas usuarias de sillas de ruedas.

Dichas puertas cumplirán con las siguientes características:

- Tener un ancho libre de como mínimo de 1.300 mm a una altura de 1.500 mm, en cualquier caso, nunca será menor de 1.200 mm en todo el hueco útil de la puerta y la altura será lo

máximo posible, teniendo en cuenta el gálibo de la caja, siendo como mínimo de 1.900 mm y como máximo de 2.000 mm. En fase de proyecto el Adjudicatario deberá analizar si es viable el cumplimiento del Código Catalán de Accesibilidad teniendo en cuenta las restricciones de gálibo de la infraestructura de FMB y las necesidades de videoinformación para todo el pasaje.

- Estar señalizadas en la parte exterior con el SIA.
- Apertura automática en cada estación, sin requerir que el pasajero accione el pulsador o botón de solicitud/aviso. Esta funcionalidad solo deberá realizarse en modo ATP-ATO. En el resto de modos de conducción no deberá abrirse automáticamente y funcionarán como el resto de puertas mediante los pulsadores.
- Deberán disponer de células fotoeléctricas de detección de cierre de puertas en toda su altura u otros sistemas con la misma funcionalidad que garanticen la seguridad de los usuarios e impidan que puedan ser golpeados por la puerta mientras se cierra. Este sistema deberá ser compatible con los requerimientos de disponibilidad y regularidad de servicio comercial de FMB.
- Asimismo, las puertas accesibles deberán cumplir todos los requisitos generales, técnicos, funcionales, de seguridad, señalización, mando, detección de obstáculos, desbloqueo, condena, sonería, indicadores luminosos, pruebas y demás condiciones aplicables definidos en el apartado 2.5 Puertas del presente pliego.

La línea de borde del estribo en cada puerta estará señalizada en toda su longitud con una franja de material antideslizante y de larga duración, de color contrastado en relación con el resto del suelo y con el color de la puerta, aplicado entre las betas de la pisadera para minimizar desgaste y evitar que se deslamine. Dicha franja deberá estar integrada (tipo inserto reemplazable antideslizante) en el material del estribo de manera que no sufra desgaste prematuro ni se desprenda. No se aceptarán materiales tipo bandas pegadas o pintadas. La solución definitiva deberá ser aprobada en fase de proyecto por FMB.

Así mismo, el diseño de las pisaderas deberá evitar la acumulación de agua y facilitar el desagüe. Las pisaderas de las puertas deberán estar diseñadas de tal manera que minimicen el escalón pero manteniendo la estanqueidad y a su vez facilitando así la entrada a sillas de ruedas. Dicho diseño deberá ser validado por FMB en fase de proyecto.

1.11.2 Asientos reservados

El tren dispondrá de veinte asientos reservados a personas con movilidad reducida no usuarias de silla de ruedas, repartidos en filas de cuatro asientos por coche. Estos asientos estarán situados en la zona central de cada coche, entre puertas exteriores de acceso de viajeros. La distribución de los asientos será longitudinal, con sujeción a los costados tipo “Cantilever”.

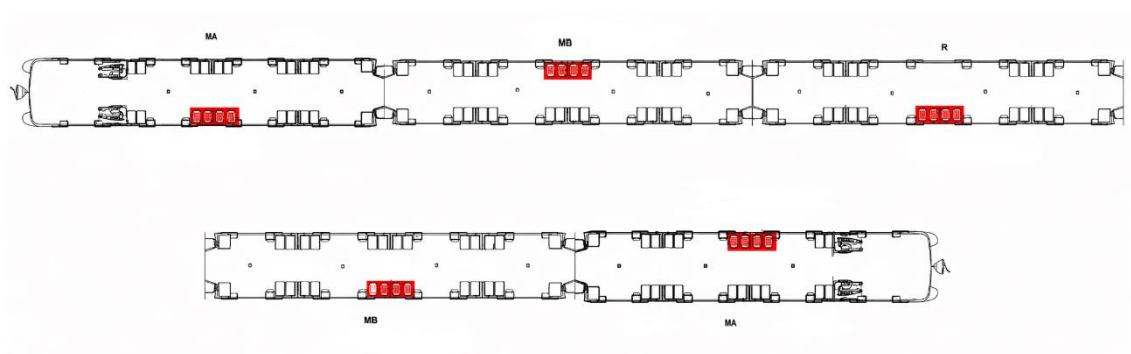


Imagen distribución asientos reservados a tren.

Los asientos reservados cumplirán las siguientes especificaciones:

- Tener un color contrastado en relación al resto de asientos. FMB dispone de un diseño personalizado de señalización que deberá estar integrado en el material del propio asiento reservado mediante impresión en láser o sistema de fabricación similar. En ningún caso se aceptarán serigrafías/pintados fácilmente erosionables y/o desgastables. El método a utilizar para la integración de la señalización en el asiento deberá ser aprobado por FMB en fase de proyecto. El diseño y color de la señalización se entregará al fabricante durante la fase de proyecto.
- Estar señalizados con los pictogramas correspondientes.
- Altura del asiento entre 45 cm y 48 cm y perímetro con formas redondeadas.
- En los grupos de cuatro asientos se dispondrá de un apoya/reposabrazos intermedio entre plazas y en las plazas extremas, integrado en el diseño del conjunto de asientos y concebido específicamente como elemento de apoyo para facilitar el sentado y la incorporación de las personas con movilidad reducida.

Este apoya/reposabrazos no podrá resolverse mediante una simple barra o elemento tubular sin justificación ergonómica. Deberá presentar una geometría, sección, posición, altura, rigidez, acabado superficial y extremos redondeados adecuados para el apoyo

del antebrazo y/o el agarre de la mano, sin aristas vivas, puntos de enganche ni riesgo de lesión para los viajeros.

El diseño deberá ser robusto, resistente al uso intensivo y al vandalismo, compatible con la limpieza, el mantenimiento, la sustitución de componentes, la evacuación y la circulación interior del pasaje. El Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto la propuesta de diseño, planos, materiales, acabados, radios de borde, sistema de fijación y justificación funcional de uso por personas con movilidad reducida. El diseño definitivo deberá ser validado por FMB sobre maqueta, muestra representativa o prototipo del módulo de asientos.

- En la zona de asientos reservados deberá existir un pictograma de perro de asistencia.
- Se maximizará la anchura del asiento, siendo el ancho deseado de 500 mm, no se aceptarán plazas con una anchura de asiento menor a 480 mm.
- Profundidad mínima útil del cojín del asiento 400 mm.

La profundidad útil del cojín del asiento se medirá desde el borde delantero del cojín hasta la intersección funcional con el respaldo, considerando la superficie efectiva destinada al apoyo del usuario. No se admitirá que el cumplimiento de este requisito se obtenga mediante desplazamientos, geometrías o inclinaciones del respaldo que reduzcan la superficie real de apoyo, el confort o la ergonomía del asiento.

El material constitutivo del asiento será rígido con perfiles metálicos no visibles, con los asientos y respaldos fácilmente sustituibles. El asiento será resistente al rayado por vandalismo, siendo el color de las piezas interior y exterior el mismo.

Los principios básicos que deberá cumplir el asiento serán los siguientes:

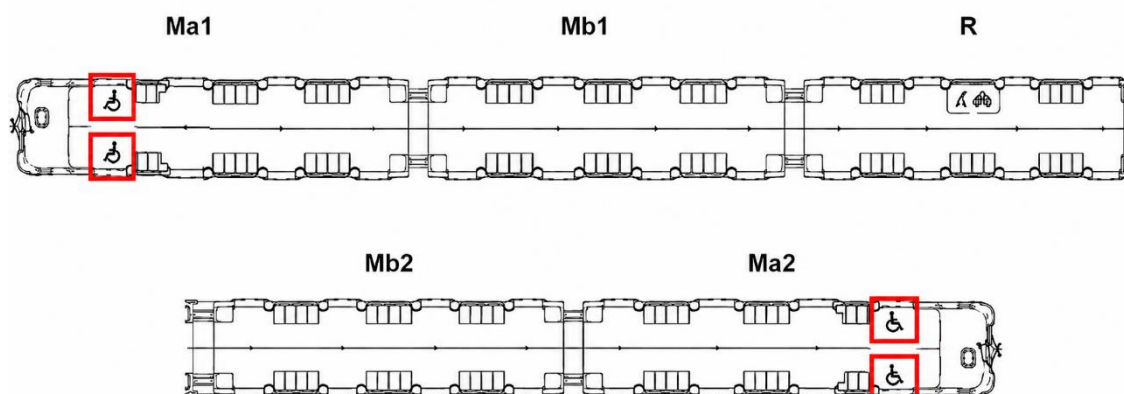
- a) Coloración másica, no superficial, que no requiera posteriores pintados.
- b) Conformación de características anatómicas y ergonómicas para que no fatiguen las vibraciones.
- c) El color del asiento estará integrado con el resto de la decoración interior.

Los asientos prioritarios y su entorno inmediato de utilización deberán diseñarse de forma que permitan su acceso, uso y abandono en condiciones adecuadas de accesibilidad, seguridad y confort, teniendo en cuenta la configuración longitudinal del vehículo y su ubicación entre puertas.

Los asientos reservados y los asientos estándar deberán diseñarse con una solución constructiva compatible e intercambiable, de forma que la conversión futura de un asiento estándar en asiento reservado, o viceversa, pueda realizarse sin modificar la estructura de caja, anclajes principales, soportes, pavimento, revestimientos ni interfaces con otros sistemas del tren. A tal efecto, el diseño deberá permitir que una ampliación futura del número de asientos reservados por coche pueda realizarse mediante la sustitución de elementos superficiales o de identificación —tales como carcasa, acabado, color, señalización— y, en su caso, elementos menores asociados, sin requerir una reforma estructural del interiorismo.

1.11.3 Espacio reservado para pasaje usuarios de silla de ruedas

Deben existir espacios libres de asientos con capacidad para alojar a cuatro pasajeros en silla de ruedas, dos en cada coche extremo del tren (MA's), en las proximidades de las primeras puertas.



Distribución de los espacios para sillas de ruedas de tren.

Estos espacios deben cumplir con los siguientes requisitos:

- El rectángulo que forma el espacio reservado se posicionará con el lado largo paralelo al eje longitudinal del vehículo. En esta superficie no puede existir ningún obstáculo que produzca resalte a nivel del suelo.
- Cada espacio reservado para usuarios de silla de ruedas dispondrá de al menos dos asientos para acompañante, adyacente al mismo. Dicho asiento tendrá el mismo nivel diseño que el resto de los asientos del vehículo.
- Dimensiones mínimas del espacio reservado:

- Largo: 1,30 m.
- Ancho: 0,80 m.
- Cada espacio reservado debe contar con una mampara acolchada ubicada en su parte posterior, de manera que sirva de soporte al pasajero para recostar la espalda y la cabeza.
- El pasaje en silla de ruedas deberá posicionarse, en la superficie mencionada, mirando hacia la parte trasera del vehículo o de frente y paralelo al lateral de éste, nunca en posición transversal.
- Se señalizará con el pictograma del SIA a una altura entre 0,90 m y 1,20 m., en el lateral del espacio reservado. Debe incluir la instrucción de uso.



Pictograma

- Se instalará en el lateral del espacio reservado una barra horizontal de diámetro entre 3 cm y 4 cm, a una altura comprendida entre 0,70 m y 0,90 m, separada del paramento al menos 4 cm.
- El itinerario desde la puerta accesible que le corresponda hasta el espacio reservado para pasajeros en silla de ruedas debe cumplir las siguientes condiciones:
 - a) No puede contener ningún escalón ni discontinuidad del suelo.
 - b) Debe tener una anchura de paso libre de obstáculos igual o superior a 0,90 m.
 - c) No existirán barras verticales delante de la puerta accesible.
 - d) Los cambios de dirección deben garantizar un espacio libre de 1,20 m de diámetros.
 - e) Debe contener un espacio libre para giros de 1,50 m de diámetro, que puede invadir el espacio reservado.
 - f) Debe incluir los mismos mecanismos y dispositivos que el pasaje puede utilizar en otras zonas, como botón de parada, tirador de emergencia, interfono, cargadores y otros, situados a una altura entre 0,80 y 1,20 m medidos desde el suelo, los cuales no se alojarán en huecos, rehundidos o configuraciones que dificulten su

accionamiento inmediato con la palma de la mano. El dispositivo de petición de parada deberá estar claramente identificado, incorporar señalización táctil, proporcionar confirmación visual y acústica de su activación y ser accionable con la palma de la mano con un esfuerzo reducido.

- En dicha zona se agrupará el interfono, botón de parada y tirador de emergencia en un único elemento, situados a una altura entre 0,80 y 1,20 m medidos desde el suelo para garantizar el alcance por parte de las personas en sillas de ruedas que ocupen el espacio reservado. El dispositivo de petición de parada deberá situarse dentro de una zona de alcance cómodo para una persona usuaria de silla de ruedas que ocupe el espacio reservado, de forma que pueda accionarse de manera fácil, directa y segura, sin necesidad de realizar giros forzados del tronco ni maniobras de aproximación adicionales.
- Se instalará un pulsador de solicitud de parada, debe ser luminoso de color azul, y debe tener confirmación sonora. Deberá estar mantenido 2 segundos para su activación.
- Se colocará el símbolo del SIA de color amarillo RAL 1021 en el suelo del espacio reservado, con el fin de reforzar su señalización y garantizar su uso preferencial por parte de personas usuarias de silla de ruedas.
- Deberá disponer de cinturones de seguridad que garanticen la seguridad durante la marcha.
- Dispondrá de un sistema de sensorización de los espacios reservados para sillas de ruedas para informar de su ocupación. El sistema será capaz de detectar la presencia de la silla de ruedas sin que su ocupante tenga que realizar ninguna acción. El sistema identificará inequívocamente la silla de ruedas frente a otros elementos similares como bicicletas, patines, etc. La transmisión del dato de ocupación se realizará de forma automatizada a los sistemas de información al pasaje, pantalla de conducción y centro de control, mediante la lógica del sistema informático del tren, debiendo definirse esta funcionalidad en fase de proyecto para su validación por FMB.

1.11.4 Suelo del vehículo

Será de materiales que no produzcan reflejos, y antideslizante tanto en seco como en mojado.

No existirán escalones en el recorrido interior del vehículo.

1.11.5 Información para pasajeros con discapacidad sensorial

El tren dispondrá de dispositivos que de forma visual y acústica informen sobre la próxima parada, y de cualquier otro aviso de voz o acústico referente a alteraciones del servicio.

La evaluación del contraste de los elementos del material rodante incluidos en el ámbito de accesibilidad se realizará conforme a la norma EN 16584-1:2017

Se instalará un sistema de bucle de inducción magnética para personas con dispositivos de asistencia auditiva en todos los coches del tren.

Se tomarán como referencia los requisitos de la norma UNE-EN IEC 60118-4:2016, garantizando su funcionalidad, calidad acústica y adecuación al entorno ferroviario.

El Adjudicatario presentará en fase de proyecto la arquitectura del sistema propuesto, especificaciones del equipo amplificador, diseño del bucle y la forma de integración con el sistema de megafonía y videodifusión del tren.

El sistema deberá estar plenamente integrado con el sistema de información al viajero del tren, y su gestión se realizará desde la pantalla de conducción del tren.

Se preverá, la gestión diferenciada de señales acústicas críticas (avisos, alarmas, etc.).

La presencia del sistema de bucle de inducción magnética deberá estar señalizada mediante el pictograma correspondiente.

Las mediciones del sistema, tanto en fase de validación como en mantenimiento, deberán realizarse según la norma UNE-EN IEC 60118-4:2016, incluyendo:

- Ruido magnético de fondo.
- Nivel de campo magnético con señal sinusoidal de 1,6 kHz a 0 dB.
- Curva de respuesta en frecuencia con ruido rosa.
- Ensayos auditivos subjetivos mediante telebobina.

Las medidas deben realizarse a una altura de 1,20 m sobre el suelo y distribuidas a lo largo del pasillo central del coche, especialmente en las zonas habilitadas para sillas de ruedas.

Se documentará y presentarán los siguientes ensayos:

- Nivel de intensidad del campo magnético dentro del rango establecido (100 mA/m $\pm$ 3 dB).
- Medición de la distorsión armónica.
- Verificación de la uniformidad del campo en las zonas de cobertura.
- Ausencia de ruido de fondo que supere el umbral máximo permitido.

El Adjudicatario aportará toda la documentación técnica en fase de proyecto, esquemas eléctricos, planos, fichas de equipo y procedimientos de verificación, necesarios para su validación por parte de FMB.

El sistema será validado durante la fase de pruebas dinámicas del tren, en condiciones reales de operación. No se aceptarán soluciones que no acrediten de forma fehaciente la correcta transmisión del sonido, sin distorsiones, interferencias ni pérdida de inteligibilidad.

El diseño del sistema deberá permitir su mantenimiento preventivo y correctivo, identificando operaciones de mantenimiento y herramientas especiales (medidor de calidad sonora).

1.11.6 Acondicionamiento exterior

Se colocará un pictograma SIA en la parte frontal derecha del vehículo. La puerta accesible del vehículo también estará señalizada tanto en su parte exterior como en la interior con el SIA.

1.11.7 Paneles luminosos interiores

Los caracteres gráficos de todos los paneles luminosos interiores deberán cumplir con lo estipulado en la norma ISO 3864-1.

Durante la fase de proyecto, se deberá consensuar con FMB el tipo de iluminación que se instalará, así como todas sus funcionalidades.

1.12 Maqueta

El Adjudicatario, máximo a los 9 meses de la firma del contrato, entregará una maqueta de realidad virtual (3D) de la cabina de conducción y de la sala de pasaje a nivel interior de sala de pasajeros que deberá mostrar las 3 zonas principales: una zona de asientos, la zona para silla de ruedas y la zona del espacio multifuncional. El Adjudicatario deberá suministrar los equipos necesarios para poder realizar y visualizar dicha simulación (gafas de realidad virtual, PC, maqueta, ...). La maqueta virtual deberá ser validada por FMB en un plazo máximo de 1 mes

desde la fecha de presentación oficial. La validación de dicha maqueta podrá tener solicitud de correcciones que se deberán tener en cuenta en la maqueta física.

Durante la fase de proyecto, y como máximo en 15 meses después de la firma del contrato, se entregará una maqueta del tren a tamaño real. La maqueta real no se podrá fabricar hasta que la maqueta virtual no está validada por FMB. La maqueta incorporará todos los elementos reales posibles que se instalarán en el tren a fabricar por el Adjudicatario, que entre otros serán:

- Asiento conducción con suspensión neumática.
- Manipulador de conducción.
- Pupitre.
- Asiento.
- Pulsadores.
- Pavimento.
- Tiradores alarma y desbloques.
- Pantallas.
-

La maqueta estará formada por un coche con cabina de conducción (pulsadores, asientos, pantallas, iluminación interior y exterior, puertas, asiento, vidrios, y todos los componentes necesarios y realistas de cómo será la cabina final) y la caja del pasaje con interiorismo realista al diseño, asientos, barras y asideros, pantallas, ventanas, puertas, armario de dotación, el sistema de desalojo de pasaje (frontal y lateral), válido para túnel de vía simple, vía doble, tren acoplado, tren paralelo, etc. También estará incluida la ubicación de dichos dispositivos. A nivel interior de sala de pasajeros deberá mostrar las 3 zonas principales: una zona de asientos, la zona para silla de ruedas y la zona del espacio multifuncional. La maqueta deberá ser validada por FMB en un plazo máximo de 2 meses desde la fecha de presentación oficial. La validación de dicha maqueta podrá tener solicitud de modificaciones que se deberán tener en cuenta en el diseño oficial del tren.

La responsabilidad del transporte y adecuación de la maqueta irá a cargo del Adjudicatario. En concreto si algún elemento precisa de alimentación neumática (por ejemplo, para el asiento del personal de conducción) deberá instalar un compresor adecuado para dicho propósito. Será también responsabilidad del Adjudicatario la instalación de los accesos fijos al interior de sala de pasajeros para personas de movilidad reducida (rampas con barandilla) cumpliendo con la normativa vigente para este tipo de accesos. El Adjudicatario realizará una evaluación de riesgos desde el punto de vista de Prevención de Riesgos Laborales de la maqueta que deberá entregar a FMB una vez instalada. El Adjudicatario deberá considerar al menos dos ubicaciones de exposición de dicha maqueta.

El alcance del suministro incluirá una maqueta física y una maqueta virtual por cada lote Adjudicado. En el caso de adjudicación mediante oferta integradora, el alcance incluirá una maqueta física y dos maquetas virtuales, una representativa de la cabina Línea 1 y otra representativa de un coche de Línea 2.

Se realizarán dos maquetas miniatura a escala por lote de todo el tren para personas con discapacidad visual. En caso de adjudicarse el contrato a una oferta integradora se realizarán dos maquetas miniatura a escala de los trenes de Línea 2 y dos maquetas de los trenes de Línea 1. La escala de la maqueta será aproximadamente de 1:16. La escala definitiva junto con las características y materiales (ABS, nilón, madera, ...) serán definidas en fase de proyecto y deberán ser validadas por FMB.

2. ESPECIFICACIONES SOBRE EL MATERIAL MÓVIL

En fase de proyecto se presentarán al menos 3 (TRES) propuestas de diseño interior y exterior. FMB decidirá el diseño final a partir de estas propuestas, en un plazo máximo de 2 meses. Estas propuestas se presentarán con la documentación necesaria (planos, simulación 3D, ...) para su valoración y con el nivel de detalle suficiente para su evaluación y aprobación por parte de FMB. La aprobación del diseño por FMB será necesaria para el inicio de la fabricación.

Durante la fase de proyecto, todas las propuestas realizadas por el Adjudicatario estarán incluidas en el alcance de este contrato, así como en el precio y plazos de entrega ofertados.

Todos los equipos que no tengan comunicación con el sistema informático (bogies, ejes, motores, pantógrafos, ...) dispondrán de un tag RFID que permita identificar de manera rápida e inequívoca el equipo, el Adjudicatario suministrará los equipos necesarios para leer dichos tags y el software necesario. El tag deberá ser robusto y asegurar que este no se desprende ni se deteriora durante toda la vida útil del equipo. Dicha identificación será validada por FMB. Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario trabajará con FMB para establecer un nombre y código para todos los componentes y sistemas.

Toda la tecnología utilizada en los trenes será tecnología sobradamente probada y con referencias en otras explotaciones ferroviarias. FMB se reserva la potestad de solicitar en cualquier fase del proyecto la documentación justificativa correspondiente pudiendo descartar aquellos equipos o elementos no justificados debidamente, sin coste alguno para FMB.

El diseño deberá contemplar soluciones que eviten la necesidad de recurrir a la presencia de recursos preventivos durante las tareas de desmontaje rutinarias, en cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 1215/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

El Adjudicatario en fase de proyecto demostrará el cumplimiento de la norma EN 14363, incluyendo la seguridad contra el descarrilamiento en vía alabeada y la evaluación del comportamiento dinámico y del esfuerzo de guiado cuasiestático, aplicando la metodología descrita en la propia norma, en función de las características del vehículo y las condiciones de explotación.

El Adjudicatario en fase de proyecto demostrará que el diseño de los vehículos permitirá cumplir los requisitos de la norma EN 14363: "Railway applications. Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Testing of running behavior and stationary tests". En fase proyecto se aportarán los cálculos mediante simulación.

El Adjudicatario demostrará en fase de proyecto, que el Índice de Comodidad Media NMV, definido y evaluado de acuerdo con la norma EN-12299, no será superior a 2 ($NMV \leq 2$).

El sistema de control del tren deberá gestionar los niveles de carga (AW) con criterios técnicos claros y definidos, alineados con la seguridad operativa y el cumplimiento de prestaciones contratadas. A tal efecto se establecen los siguientes requerimientos:

- No deberá generarse ninguna alarma ni información visible en cabina hasta alcanzar el valor AW4, entendiéndose que hasta dicho nivel el tren debe garantizar todas las prestaciones de tracción y frenado, tanto en conducción manual como automática (ATO). El cumplimiento de estas prestaciones deberá ser justificado por el Adjudicatario mediante cálculo técnico durante la fase de proyecto.
- Por encima del valor AW4, y solo en ese caso, deberá activarse una señalización en la pantalla de conducción, dicho mensaje será validado por FMB en fase de proyecto.
- La gestión de esta alarma deberá estar soportada por el sistema de detección de carga mediante la presión de la suspensión neumática, u otro medio validado técnicamente. En ningún caso podrá afectar automáticamente la operación del tren salvo que así se determine en fase de proyecto.
- La lógica de activación de esta alarma, así como su impacto en los modos de conducción, su visualización en cabina y el texto exacto mostrado, deberán ser validados por FMB antes del cierre de la ingeniería funcional de los sistemas.
- El Adjudicatario deberá incluir esta lógica y los criterios de sobrecarga en el Manual de Conducción y en la documentación funcional del sistema, asegurando coherencia con el comportamiento real del tren.

El sistema de control del tren deberá garantizar la ejecución precisa del punto de parada, cumpliendo las tolerancias establecidas contractualmente y en coordinación total con el sistema ATC instalado. A tal efecto:

- El Adjudicatario será el responsable de la implantación y validación del sistema de parada del tren, incluyendo su comportamiento en operación ATO, la gestión del fade-in/fade-out, los retardos y las tolerancias de parada.
- El interfaz funcional y de datos entre el sistema ATC y el resto de los subsistemas del tren deberá estar claramente definido por el Adjudicatario en fase de proyecto y ser validado por FMB.

- Cualquier desviación funcional observada durante la validación o puesta en servicio que afecte al comportamiento del tren en punto de parada deberá ser subsanada por el Adjudicatario, incluyendo las adaptaciones necesarias en el software.
- Las funciones que involucren coordinación entre contratos diferentes (ej. entre el fabricante del sistema ATC y el Adjudicatario) deberán tener claramente definidas las responsabilidades de cada parte en los documentos de interfaz aprobados, siendo obligación del Adjudicatario la correcta integración de los equipos suministrados por terceros y su validación funcional en el tren, con las pruebas de integración necesarias.
- La lógica de fade-out, activación de ayudas al conductor, desbloqueo de puertas, y demás funcionalidades asociadas al punto de parada, deberán implementarse conforme a los criterios definidos y validados por FMB, y cualquier ajuste posterior a la validación técnica deberá ser previamente aprobada por FMB.

El Adjudicatario dotará a todos los equipos embarcados de la refrigeración/ventilación adecuada para maximizar su vida útil.

Los equipos situados bajo caja y, en general, los elementos expuestos estarán protegidos frente a proyecciones de balasto/piedras, objetos presentes en la vía y contaminantes mediante cofres/carenados con tapa, pantallas, deflectores y/o protecciones locales, según proceda. El Adjudicatario aportará la justificación de diseño y su verificación en fase de proyecto y, cuando aplique, mediante ensayos, garantizando que en condiciones de explotación no se producen daños funcionales.

El Adjudicatario instalará protecciones quitapiedras delante de las ruedas del eje delantero que cumplirán los requisitos aplicables de la EN 15227:2020. Su diseño y ubicación garantizarán compatibilidad y no interferencia con antenas/sensores embarcados (TS/PUC, etc.). El Adjudicatario deberá validar dicha compatibilidad durante la fase de proyecto.

El diseño y funcionamiento de la cadena de tracción deberá cumplir la UNE-EN 50388-1, en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato, en lo relativo a la coordinación entre el sistema de alimentación eléctrica y el material rodante, incluyendo la operación con frenado regenerativo, el retorno de energía a la línea, la regulación automática de la corriente en función de la tensión de alimentación y el cálculo del factor de potencia del tren, incluyendo, cuando proceda, la explotación múltiple con el número máximo previsto de unidades acopladas. El Adjudicatario deberá justificar dicho cumplimiento, en fase de proyecto, mediante la documentación técnica y los estudios/ensayos correspondientes.

El tren deberá disponer de una regulación automática de la corriente en función de la tensión de línea, de modo que la corriente o la potencia absorbida queden limitadas a los valores máximos admisibles para cada condición de tensión del sistema de alimentación. El diseño y funcionamiento de esta función deberán cumplir la UNE-EN 50388-1, en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato. El Adjudicatario deberá justificar dicho cumplimiento mediante la documentación técnica y los estudios/ensayos correspondientes.

Se tendrá en cuenta en el dimensionado la tolerancia y el envejecimiento de sus elementos constitutivos, de forma que una deriva eventual de los valores nominales permita al equipo cumplir convenientemente su función durante su vida útil estimada.

El tren podrá ser encarrilado con los medios actuales que dispone FMB basados en gatos hidráulicos para la elevación del tren y la traslación sobre una viga longitudinal.

Los trenes podrán ir acoplados en caso de avería de uno de ellos y que no le permitiera circular por sus propios medios.

Los trenes se dimensionarán con un nivel de redundancia de equipos tal que ante cualquier avería permita alcanzar la siguiente estación para evacuar pasaje, arrancando en la máxima pendiente y curva y con la carga máxima, y ya en vacío proseguir hasta la cochera, con independencia del trayecto.

En caso de avería de un tren, este podrá ser rescatado acoplando otro y la composición ("Tren averiado - Tren rescatador") podrá circular por sus propios medios.

El diseño y suministro de los equipos del tren deberá facilitar su utilización segura conforme a lo establecido en el RD 1215/1997, permitiendo al operador cumplir sus obligaciones en materia de prevención de riesgos laborales.

Todos los dispositivos que requieran accionamiento manual deberán estar diseñados y dimensionados de acuerdo con los límites de fuerza recomendados establecidos en la norma UNE-EN 1005-3 'Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 3: Límites de fuerza recomendados para la utilización de máquinas', con el fin de garantizar un uso seguro y ergonómico para el personal operativo y de mantenimiento.

Todos los armarios y cajas de equipos del tren deberán estar claramente identificados mediante un cartel o rótulo visible que indique el nombre y la codificación del equipo alojado en su interior. Además, aquellos que contengan componentes eléctricos deberán incorporar señalización específica de riesgo eléctrico, indicando de forma clara y permanente la tensión presente. Esta obligación se extiende también a las cajas situadas bajo bastidor.

Toda la señalización deberá cumplir con lo establecido en los Reales Decretos 485/1997, 1215/1997, 1644/2008 y 614/2001, en materia de señalización de seguridad, condiciones mínimas de seguridad en los lugares de trabajo, requisitos esenciales de seguridad y salud en máquinas y protección frente al riesgo eléctrico.

En el diseño de los equipos, dispositivos y sistemas que requieran manipulación física por parte del personal, deberán tenerse en cuenta las diferencias de género y edad, adoptando como criterio de diseño el factor más restrictivo. Esta exigencia se establece conforme a lo dispuesto en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales, con el fin de garantizar condiciones seguras y saludables para todo el personal.

En cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 614/2001, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, el tren deberá estar diseñado para eliminar cualquier posibilidad de contacto eléctrico directo o indirecto en todos los elementos accesibles al pasaje y al personal de mantenimiento de primer nivel.

Todos los elementos de actuación manual, tales como interruptores, selectores, válvulas, cierres, mandos mecánicos, etc, deberán situarse de forma que puedan accionarse de manera segura, directa y ergonómica, sin necesidad de utilizar plataformas, escaleras ni otros medios auxiliares. Su ubicación deberá justificarse mediante criterios ergonómicos y antropométricos adecuados al puesto de trabajo, conforme a UNE-EN ISO 14738:2010 o norma que la sustituya. Como criterio de diseño, no se admitirán mandos manuales por encima de 180 cm.

Sobre el primer tren prototipo fabricado, se realizarán los correspondientes ensayos extensiométricos y de vibraciones sobre la caja, bastidor, eje y ruedas, indicando el Adjudicatario, los puntos a controlar y las tensiones previsibles a obtener, las cuales se contrastarán con los resultados reales en las vías de FMB. Dichos ensayos deberán ser validados por FMB. Todo el cableado, así como la sensórica utilizada para dichas mediciones, deberá dejarse instalada en los bogies para su utilización en el futuro por parte de FMB.

2.1 REQUISITOS GENERALES DE SOFTWARE E INTERFACES DE USUARIO

Todo el software, firmware, aplicaciones, herramientas de diagnóstico, configuración, mantenimiento, monitorización, mensajes, alarmas, estados operacionales, guías de actuación, indicaciones al personal de conducción, información al personal de mantenimiento, información al pasaje,... deberá estar en catalán y castellano.

Las funciones de consulta, diagnóstico, descarga de datos, mantenimiento, parametrización ordinaria, configuración, generación de informes y gestión de incidencias deberán ser accesibles

mediante entorno web, preferentemente a través de navegadores estándar y sin necesidad de instalar software propietario específico en los equipos informáticos de FMB.

El acceso mediante entorno web deberá permitir la conexión local o remota a los equipos, sistemas o plataformas correspondientes, de acuerdo con la arquitectura de red, los perfiles de usuario, las condiciones de ciberseguridad, las restricciones operacionales y los procedimientos de mantenimiento que se definan en fase de proyecto.

No obstante, FMB podrá aceptar, previa validación expresa, que determinadas herramientas software se suministren mediante aplicaciones específicas no basadas en entorno web, siempre que ello quede justificado por el Adjudicatario y no limite la explotación, el mantenimiento autónomo, la diagnosis, la formación, la ciberseguridad, la gestión de incidencias ni la disponibilidad del tren. En dicho caso el Adjudicatario deberá entregar a FMB dicho software coincidiendo con la entrada en servicio del primer tren. El software deberá trabajar en entorno Windows. Todas las versiones de software a entregar serán las utilizadas por el Adjudicatario en la puesta en marcha del sistema, sin ningún tipo de limitación en sus prestaciones. El número de licencias software a entregar se dimensionará en función de las necesidades que en su momento se prevean.

2.2 TOMA DE CORRIENTE Y LÍNEA PRINCIPAL (A)

La línea de tensión de tracción estará convenientemente protegida y cableada según norma EN 50343 y la EN 45545, hasta el cofre del disyuntor principal. Para asegurar la fiabilidad y seguridad en tensión continua, se aplicarán además las disposiciones relevantes de la serie IEC 61992.

El montaje de los pantógrafos y el diseño de la línea principal de alta tensión deberán garantizar que el recorrido de la corriente, desde el arco de captación hasta los equipos del vehículo, se encuentre adecuadamente aislado respecto de la caja, masas, estructuras y demás circuitos del tren.

El nivel de aislamiento de todos los elementos del recorrido de alta tensión deberá ser adecuado para todas las tensiones de alimentación para las que se haya diseñado la unidad, incluidas las tolerancias y sobretensiones aplicables.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto la coordinación de aislamiento del conjunto, incluyendo pantógrafo, embarrados, cables, canalizaciones, pasamuros, cofres, seccionamiento, disyuntor principal y equipos conectados a la línea de tracción, mediante memoria técnica, esquemas y cálculos, de acuerdo con las normas aplicables.

2.2.1 Pantógrafos

Los trenes estarán dotados de dos (2) pantógrafos por semiunidad, instalados en los coches MA y MB, lo que representa un total de cuatro (4) pantógrafos por tren.

La configuración normal de explotación del tren será con los cuatro (4) pantógrafos elevados y en contacto con la catenaria.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto que dicha configuración es compatible con la catenaria rígida y flexible de la red de FMB, considerando expresamente la interacción entre pantógrafos consecutivos y su efecto sobre la calidad de captación de corriente.

El Adjudicatario deberá acreditar documentalmente que la configuración anterior cumple los criterios de aceptación de captación de corriente aplicables, y entregará a FMB los informes de cálculo, hipótesis de simulación, configuración ensayada, resultados, conclusiones y evidencias de conformidad.

Los pantógrafos deberán estar diseñados para la corriente nominal que deba transmitirse a la unidad en las condiciones de explotación previstas. El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto la capacidad de corriente del pantógrafo, incluyendo su adecuación a la potencia instalada del tren, a las tensiones de alimentación previstas y a las condiciones de servicio de la red FMB, mediante documentación técnica, cálculos y/o ensayos.

El pantógrafo deberá estar definido y dimensionado para la corriente máxima admisible en parado correspondiente a los sistemas de alimentación previstos para la red FMB.

La verificación de la corriente máxima en parado del pantógrafo incluirá la evaluación mediante medición de la temperatura del hilo de contacto, usando como referencia la UNE-EN 50367.

En su dimensionamiento y validación, el Adjudicatario deberá tener en cuenta las características de la línea aérea de contacto de la infraestructura en la que el tren vaya a operar, incluyendo, entre otros aspectos, el material y características del hilo de contacto cuando resulten relevantes.

El cumplimiento de este requisito deberá justificarse en fase de proyecto mediante documentación técnica, cálculos y/o ensayos.

Se garantizará el perfecto contacto con la catenaria rígida, así como en aquellos tramos de catenaria flexible, en todo el rango de alturas, desde la posición inferior hasta la posición superior, manteniéndose la fuerza estática nominal dentro de la tolerancia requerida para una captación de corriente continua estable.

Los pantógrafos se instalarán preferentemente sobre el bogie extremo de cada coche motriz, con el fin de reducir los desplazamientos laterales en inscripción en curva. Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá verificar y justificar documentalmente, mediante los cálculos correspondientes, que la ubicación cumple con los gálibos estáticos, dinámicos y cinemáticos según la norma EN 15273-2, que respeta las envolventes de la infraestructura de la red de FMB, y que garantiza la compatibilidad con la catenaria utilizando como referencia la norma EN 50367.

Los pantógrafos deberán garantizar la captación de corriente en todo el rango real de alturas de hilo de contacto existente en la red FMB, incluyendo las alturas nominales definidas en el presente Pliego y sus tolerancias de explotación y mantenimiento. El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto, mediante estudio de gálibos y compatibilidad pantógrafo-catenaria, que la solución propuesta es compatible con la infraestructura real de FMB, conforme a UNE-EN 15273-2 y usando como referencia la EN 50367.

En particular, deberá justificarse la compatibilidad con las alturas nominales de hilo de contacto de 4.350 mm en L1 y 4.150 mm en L2, L3 y L4, así como con el rango real de variación admisible en servicio. Los pantógrafos deberán cumplir con los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 50206-2, incluyendo los ensayos tipo y serie para metros y ferrocarriles ligeros. Asimismo, se deberá garantizar la compatibilidad con la catenaria rígida de la red de FMB. El cumplimiento de estas normas se acreditará mediante certificados de ensayo válidos emitidos por el fabricante del equipo o mediante documentación técnica validada por el Adjudicatario.

La geometría del arco del pantógrafo, su anchura efectiva y la compatibilidad con la línea aérea de contacto de FMB deberán justificarse tomando como referencia los criterios aplicables de la UNE-EN 50206-2 y tomando como referencia la UNE-EN 50367, adaptados a las características reales de la infraestructura de FMB.

El esfuerzo estático de contacto será ajustable, con un valor nominal de 70 ± 10 N, mantenido de forma uniforme a lo largo de todo el campo de operación del pantógrafo.

Las bandas de frotamiento serán preferentemente de grafito con el menor contenido metálico técnicamente viable. En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar un estudio comparativo de las alternativas disponibles para las bandas de frotamiento, incluyendo como mínimo la compatibilidad eléctrica y mecánica con la línea aérea de contacto de FMB, la capacidad de captación de corriente, el comportamiento frente al desgaste, la vida útil prevista, el impacto sobre el desgaste del hilo de contacto, la generación de partículas por abrasión y los posibles riesgos para viajeros, personal de operación, personal de mantenimiento y medio ambiente.

En caso de que se propongan bandas de carbono impregnadas con cobre, aleaciones de cobre u otros aditivos metálicos, el Adjudicatario deberá justificar expresamente su necesidad técnica, declarar su composición y contenido metálico, aportar la ficha de datos de seguridad o documentación equivalente del fabricante, y evaluar los riesgos derivados del desgaste, generación de polvo o partículas, manipulación, sustitución y gestión como residuo.

Siempre que exista una alternativa técnicamente viable, compatible con la infraestructura de FMB y con las prestaciones exigidas de captación de corriente, deberá adoptarse la solución que minimice la emisión de partículas metálicas y el impacto sobre la salud de las personas y el medio ambiente.

La solución propuesta para las bandas de frotamiento deberá ser validada expresamente por FMB en fase de proyecto. FMB podrá solicitar la sustitución por una solución alternativa que minimice la generación de polvo, partículas metálicas o sustancias peligrosas, siempre que exista una alternativa técnicamente viable compatible con los requisitos funcionales y eléctricos del tren. Dicha sustitución, incluyendo estudios, homologaciones, adaptación documental, suministro e implantación, no supondrá coste adicional para FMB.

El Adjudicatario deberá homologar al menos dos proveedores de bandas de frotamiento antes de la puesta en servicio del primer tren, debiendo quedar ambos proveedores validados por FMB.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto que la interacción dinámica entre los pantógrafos instalados en el tren y la catenaria rígida y flexible de la red de FMB garantiza una captación de corriente estable, sin pérdidas inadmisibles de contacto ni sollicitaciones excesivas sobre la línea aérea de contacto.

A tal efecto, el Adjudicatario deberá realizar y entregar:

- simulación validada de la interacción dinámica pantógrafo-catenaria usando como referencia la norma UNE-EN 50318;
- ensayos dinámicos en vía y validación de medidas conforme a UNE-EN 50317;
- justificación de la compatibilidad técnica del conjunto pantógrafo-catenaria conforme la UNE-EN 50206-2 y usando como referencia la norma UNE-EN 50367.

La justificación deberá contemplar, como mínimo, la configuración más desfavorable de explotación prevista, incluyendo tipo de catenaria, rango de velocidades, disposición de pantógrafos en servicio, separación entre pantógrafos y condiciones de operación representativas de la red de FMB.

El Adjudicatario deberá acreditar documentalmente que los resultados obtenidos en simulación y ensayo se mantienen dentro de los límites de aceptación establecidos en las normas anteriores, y entregará a FMB los correspondientes informes de cálculo, hipótesis de simulación, configuración ensayada, resultados, conclusiones y evidencias de conformidad.

La elevación y el descenso de los pantógrafos serán mediante motor eléctrico, con control eléctrico individual por pantógrafo, sensores de estado/posición, y sistema de anulación eléctrica y mecánica independiente para cada unidad. Los pantógrafos serán monitorizados mediante el sistema informático embarcado, que permitirá la supervisión de órdenes de subida/bajada, estado de conexión, estado mecánico, anulación individual del pantógrafo y alarmas.

El sistema de mando y accionamiento del pantógrafo deberá garantizar su bajada completa en un tiempo máximo de 3 segundos, tanto por orden del personal de conducción como por actuación automática de las funciones de control del tren que así lo requieran.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto que dicho tiempo de bajada es compatible con la distancia de aislamiento dinámico exigible para la línea aérea de contacto de la red de FMB, de acuerdo con la UNE-EN 50119 y demás normas de aplicación.

El cumplimiento de este requisito deberá acreditarse mediante memoria técnica, cálculos, esquemas funcionales y, cuando proceda, ensayos o validaciones del fabricante.

El pantógrafo podrá ser controlado desde la cabina de conducción, permitiendo como mínimo las órdenes de subida, bajada y anulación individual, tanto mediante la pantalla de ayuda a la conducción como mediante un pulsador físico dedicado. La maniobra de bajada o abatimiento será suave, progresiva y amortiguada, garantizando la protección del pantógrafo y de la línea aérea de contacto.

Adicionalmente, el pantógrafo dispondrá de un sistema de elevación y descenso manual desde el interior del tren, utilizable en caso de emergencia o de fallo del sistema de accionamiento normal. Dicho sistema manual estará concebido de forma segura por sí mismo, incorporando los dispositivos necesarios para limitar la carrera, el esfuerzo y/o el par aplicado durante la maniobra, de forma que se impida sobrepasar la posición de contacto con la catenaria o aplicar esfuerzos indebidos sobre la línea aérea de contacto.

Como seguridad adicional para el personal que realice la maniobra, el útil específico de accionamiento manual dispondrá de una parte dieléctrica adecuada que asegure una segunda seguridad ante contacto eléctrico. El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto la solución adoptada, incluyendo su principio de funcionamiento, condiciones de utilización,

procedimiento de operación, medidas de seguridad, mantenimiento y validación mediante ensayo o comprobación funcional.

Con el objetivo de prevenir riesgos laborales durante las tareas de inspección o mantenimiento del pantógrafo, este no se abatirá de forma intempestiva cuando esté en posición elevada, garantizando así la seguridad del personal técnico. Este sistema deberá ser validado por FMB durante la fase de proyecto.

Adicionalmente, se deberá incorporar señalización de riesgo por atrapamiento en la zona del pantógrafo, incluyendo:

- Adhesivos de advertencia de atrapamiento situados en todos los lados visibles del pantógrafo.
- Franjas de señalización en color amarillo/negro, aplicadas tanto en el perímetro accesible como en los elementos móviles del sistema, de acuerdo con el RD 485/1997 sobre señalización de seguridad.

Se instalará junto a cada pantógrafo un dispositivo de protección contra sobretensiones (pararrayos) estático, sin mantenimiento, cuya degradación no se vea afectada por el envejecimiento ni agentes externos. Este dispositivo deberá cumplir con las normas UNE-EN 60099-4, UNE-EN 50526-1 e IEC 62848-1.

En el techo del coche, adyacente a la base del pantógrafo, se instalará un cofre para el fusible de protección de línea de tracción. El estado de este cofre deberá ser monitorizado por el sistema informático embarcado del tren.

El tren deberá estar diseñado de forma que pueda atravesar las secciones neutras, de separación de fases o de separación de sistemas existentes o previstas en la red de FMB, sin puentearlas y garantizando que, durante su paso, pueda reducirse a cero el intercambio de energía entre la catenaria y la unidad.

El Adjudicatario deberá definir en fase de proyecto la lógica funcional asociada al paso por dichas secciones, incluyendo, según proceda, el mando del disyuntor principal, la inhibición de tracción y la configuración permitida de pantógrafos.

El Adjudicatario deberá justificar, en fase de Ingeniería del proyecto, documentalmente esta funcionalidad e incluir en la documentación de proyecto la secuencia de actuación, condiciones de mando, protecciones asociadas y criterios de explotación previstos para la red de FMB.

El sistema de mando del pantógrafo deberá garantizar que, ante cualquier orden de bajada, el disyuntor principal se abra automáticamente con carácter previo al inicio del descenso del pantógrafo.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto el cumplimiento de esta secuencia funcional y del tiempo máximo de plegado mediante memoria técnica, esquemas de control, cronogramas funcionales y, cuando proceda, ensayos o validaciones del fabricante.

Se tomarán como referencia adicional, las normas UIC608-R y UIC552 cuando aporten criterios técnicos complementarios de instalación o diseño, siempre que no entren en conflicto con las normas UNE-EN e IEC específicas en el presente pliego.

2.2.2 Disyuntor

Se dispondrá de un disyuntor principal de tracción en corriente continua, ubicado en cada semiunidad, capaz de actuar en ambos sentidos de circulación de corriente (tracción y frenado), con el objetivo de garantizar la protección del sistema eléctrico ante fallos o anomalías.

El accionamiento del disyuntor será eléctrico o electromagnético, con apertura por resorte precargado y capacidad de desconexión rápida, asegurando el corte incluso en caso de fallo de alimentación. El mando manual deberá situarse en la cabina de conducción, en la pantalla de ayuda a la conducción, e irá acompañado de un pulsador físico y piloto dedicado que indique su estado (conectado o desconectado).

Deberá estar prevista una separación segura entre la parte de alta y la de baja tensión dentro del cofre del disyuntor. El disyuntor deberá alojarse preferentemente en un cofre exclusivo. En caso de ubicarse en un cofre compartido con otros equipos, deberá garantizarse su separación física mediante compartimentación estructural, de modo que no sea accesible desde otras secciones del cofre. El diseño deberá impedir el acceso directo al disyuntor si no se abre específicamente su compartimento. Este cofre estará fabricado en material metálico o compuesto con resistencia mecánica adecuada, contra polvo, agua, humedad e impactos, con grado de protección mínimo IP55 e IK10, revestimiento interior no conductor, ignífugo, libre de halógenos, con comportamiento antiarco y antifiama y conforme a los estándares ferroviarios.

El sistema de control asegurará el aislamiento automático del equipo causante de la anomalía, y sólo permitirá el rearme si dicha causa ha desaparecido. El disyuntor podrá rearmarse únicamente si no se detecta una avería persistente que impida su funcionamiento seguro, garantizando que el tren pueda recuperar la tracción solo en condiciones correctas.

Cuando no se realice la conexión del disyuntor, el sistema informático embarcado deberá indicar al personal de conducción los motivos de la imposibilidad de conexión, proporcionando información del fallo.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá entregar las especificaciones técnicas del disyuntor, incluyendo como mínimo los siguientes parámetros:

- Circuito principal de alta tensión:
 - Tensión de funcionamiento asignada.
 - Tensión de aislamiento asignada.
 - Poder de corte en cortocircuito (mínimo 30 kA).
 - Poder de cierre en cortocircuito.
 - Categoría de funcionamiento.
 - Curva intensidad – tiempo de disparo.
- Circuito auxiliar de baja tensión:
 - Tensión nominal de alimentación y orden de control.
 - Rango de tensiones de funcionamiento.
 - Tiempo de apertura mecánica.
 - Tiempo de cierre mecánico.
- Condiciones de funcionamiento:
 - Temperatura ambiente de trabajo.
 - Grado de polución.

El diseño y funcionamiento del disyuntor deberá cumplir con lo establecido en las siguientes normas, según apliquen:

- UNE-EN 60077-2 y 60077-3: Equipos eléctricos de material rodante ferroviario – disyuntores de tracción y requisitos funcionales.

- UNE-EN 60947-2: Dispositivos de corte en baja tensión – disyuntores con características de protección.

El diseño, ajuste y verificación del disyuntor principal y de su coordinación con el sistema de alimentación deberán justificarse documentalmente en fase de proyecto conforme a la UNE-EN 50388-1. Dicha coordinación de protecciones deberá garantizar la protección de la unidad frente a sobretensiones cortas, sobretensiones temporales y corrientes de pérdida máximas.

2.3 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA (B)

2.3.1 Suministro y generación de baja tensión

Cada tren irá dotado de los elementos necesarios para el suministro de energía a los servicios auxiliares del mismo. Estos incluirán equipos tales como los convertidores estáticos y las baterías necesarias para generar y regular las tensiones continuas y alternas que se precisen para alimentar a los equipos del tren.

Los trenes tendrán una concepción redundante de todos los sistemas de producción de energía eléctrica en baja tensión para la alimentación de los equipos auxiliares. El objetivo es asegurar la máxima fiabilidad de los servicios auxiliares del tren, incluso en el caso del fallo de alguno de los equipos de producción de energía.

2.3.1.1 Batería

El sistema de baterías, incluida su carga y distribución eléctrica a lo largo del tren a la tensión nominal, será también redundante.

Cada tren estará equipado con dos baterías de acumuladores conectadas en paralelo. La estrategia de carga de estas baterías será implementada mediante equipos específicos o integrada en el sistema de conversión de energía auxiliar del tren, según la arquitectura general propuesta por el Adjudicatario. La capacidad nominal de cada una se determinará en función de las curvas características proporcionadas por el fabricante y de las especificaciones contenidas en este pliego.

La tensión nominal de cada batería será de 110 V. El Adjudicatario determinará el número de elementos, la tensión nominal de cada uno, la capacidad total, el peso, y las curvas de carga y descarga a 25°C, considerando tanto el funcionamiento normal del coche como las condiciones excepcionales que se detallan en este pliego.

En función del valor de tensión, el Adjudicatario determinará el régimen de carga más adecuado, incluyendo su adaptación en función de la temperatura ambiente.

La batería estará dimensionada para cumplir, por separado, cada uno de los siguientes requerimientos:

1. Las baterías deben alimentar sin tensión de línea durante un mínimo de 1 hora los siguientes sistemas:
 - Señalización interior y exterior.
 - Puesta en marcha.
 - Puertas.
 - Freno.
 - Megafonía/Interfonía.
 - Caja negra
 - Pantógrafo.
 - Comunicaciones / sistema informático.
 - Control tren.
 - Detección de incendios.
 - Control Tracción.
 - Distribución energía.
 - Tiradores de alarma.
 - Circuitos eléctricos de mando.
 - Radiotelefonía y comunicaciones tren-tierra bidireccionales.
 - Control de equipo neumático.
 - Sistema de Tren Stop.
 - Sistemas ATP-ATO
 - Sistema de información al viajero.

- Sistema de videovigilancia.
 - Acceso y control de cabina.
 - Otros que el Adjudicatario proponga y justifique durante el proyecto.
2. Las baterías deben alimentar sin tensión de línea durante un mínimo de 90 minutos los siguientes sistemas:
- Ventiladores de emergencia.
 - Tras la pérdida de tensión, el alumbrado ordinario deberá mantenerse operativo durante un periodo mínimo de 5 minutos. Finalizado dicho periodo, quedará en servicio exclusivamente el alumbrado de emergencia, que deberá garantizar una autonomía mínima de 90 minutos.
3. Los equipos alimentados desde el previo de batería en modo de espera prolongado (mínimo 4 días en reposo) deberán definirse y justificarse en fase de proyecto. El Adjudicatario deberá presentar un análisis específico de las cargas permanentes conectadas al previo de batería, indicando su función, consumo, tiempo de funcionamiento, modo de bajo consumo disponible, umbrales de desconexión y afección sobre la autonomía de la batería.

Como criterio general, en modo de espera prolongado únicamente deberán permanecer alimentadas aquellas cargas necesarias para la protección y supervisión de la batería, la prevención de descarga profunda, la señalización de estado crítico cuando aplique y la posterior reconexión o reinicio del tren, incluyendo la activación local o remota si así se define en el proyecto.

La inclusión de otros sistemas en el modo standby prolongado, tales como red informática, red Ethernet embarcada, comunicaciones tren-tierra, CPU multipropósito, Communication Gateway, DMR/radio, videovigilancia o grabación de cámaras, deberá ser analizado por el Adjudicatario en fase de proyecto y validado por FMB.

El balance de batería deberá contemplar de forma diferenciada los escenarios de pérdida de tensión, funcionamiento de emergencia, reinicio, puesta en marcha, standby prolongado y condiciones degradadas, identificando para cada escenario los equipos alimentados, la duración considerada y el margen disponible.

Estos cálculos se justificarán debidamente en la fase de proyecto.

El sistema incluirá un test de estado de baterías integrado en el sistema informático embarcado, que permitirá monitorizar tensión, corriente y temperatura, y transmitir estos datos a través del canal de comunicaciones determinado en el proyecto.

Junto al bastidor se instalará un seccionador para desconexión en carga y un magnetotérmico de protección, cuyo estado será monitorizado por el sistema embarcado.

Cuando la carga de la batería alcance un umbral crítico, se indicará en la pantalla IP de la testera libre del tren el estado anómalo de descarga de la batería, según el umbral definido en fase de proyecto.

El tren dispondrá de una función de supervisión continua de la tensión de batería y del estado de alimentación/recarga, destinada a evitar la descarga excesiva de las baterías y a preservar energía suficiente para permitir la posterior recuperación, preparación y arranque del tren.

En ausencia de tensión de catenaria, falta de recarga de baterías o cualquier otra condición que implique consumo prolongado desde batería, el sistema deberá gestionar automáticamente la desconexión ordenada de cargas no esenciales y, cuando sea necesario, ordenar el apagado controlado del tren antes de que la batería alcance un nivel que comprometa su integridad o impida la posterior puesta en servicio.

El umbral o criterios de actuación serán definidos por el Adjudicatario en fase de proyecto y deberán ser validados por FMB, considerando como mínimo la tecnología y capacidad de las baterías, los consumos de las cargas alimentadas desde batería, los tiempos máximos previstos sin catenaria, la energía necesaria para la recuperación del tren, y los márgenes de tensión admisibles de los equipos electrónicos embarcados conforme a UNE-EN 50155 cuando resulte aplicable.

La actuación de esta función deberá generar los avisos y registros correspondientes en el sistema de diagnóstico del tren, indicando la causa de la desconexión o apagado, el estado de batería y las condiciones necesarias para la recuperación del servicio.

La batería se montará sobre bastidor de acero inoxidable situado bajo bastidor del coche, con sistema extraíble que permita su manipulación por una sola persona aplicando una fuerza inferior a la indicada en las normas ISO 11228-1:2021 y UNE-EN 1005-3. Este sistema será duradero y libre de mantenimiento.

Los cofres de baterías deberán contar con un grado de protección que determine el Adjudicatario conforme a la norma IEC 60529, que garantice la estanqueidad frente al polvo y a chorros de

agua a presión teniendo en cuenta que los trenes son sometidos al lavado en el túnel de lavado, por lo que los componentes instalados bajo bastidor están expuestos a agua a presión y humedad. El diseño deberá evitar acumulaciones de agua, permitir un drenaje adecuado y garantizar la ventilación funcional de la batería sin comprometer su protección mecánica ni el cumplimiento del grado IP especificado.

Las conexiones eléctricas en todo su recorrido (desde la batería hasta el interior de los armarios y borneros) estarán protegidas. Dicha protección debe ser lo suficientemente robusta para asegurar que evitan los contactos accidentales durante las tareas de mantenimiento. La solución adoptada por el Adjudicatario deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

Se garantizará una ventilación adecuada del compartimento de baterías con el fin de evitar acumulaciones de gases, conforme a la norma UNE-EN 50547. El diseño deberá permitir la evacuación eficaz de los gases generados durante los ciclos de carga y descarga, mediante soluciones de ventilación natural o forzada, y evitar zonas de estancamiento.

La caja de batería contará con tratamiento anticorrosivo. La tapa dispondrá de sistema de cierre de doble seguridad que impida su apertura accidental en servicio. Este sistema deberá ser validado por FMB.

Todos los elementos alimentados en baja tensión desde batería estarán diseñados conforme a las variaciones de tensión definidas en la norma IEC 60077-1.

La estrategia de carga de las baterías deberá contemplar como mínimo los siguientes puntos, así como lo recomendado por el fabricante de la batería:

- Monitorización del estado de carga (SoC) y del estado de salud (SoH) de cada batería, con publicación de datos en la red embarcada.
- Adaptación de la curva de carga a los parámetros definidos por el fabricante, incluyendo regulación por corriente, tensión o modo de flotación.
- Compensación de tensión en función de la temperatura conforme a la UNE-EN 50547 o equivalente.
- Mantenimiento en flotación tras la carga, con tensión regulada conforme a los parámetros definidos por el fabricante de la batería, incluyendo la compensación por temperatura y respetando los límites de tensión admisibles del sistema de batería y de los equipos alimentados desde la red de baja tensión.

En caso de fallo de todos los sistemas de carga, el tren deberá poder entrar en un modo de operación segura sin alimentación auxiliar activa, cumpliendo con las exigencias mínimas de funcionamiento definidas en este pliego.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá realizar ensayos específicos conforme a la UNE-EN 50215 (o norma equivalente) para validar el sistema de carga en conjunto con las baterías, incluyendo simulaciones bajo perfiles térmicos y eléctricos representativos. En la fase de proyecto, se deberán presentar las características técnicas del sistema propuesto, incluyendo los parámetros de compensación de tensión y corriente en función de la temperatura.

2.3.1.2 Convertidores estáticos

Cada tren deberá disponer de dos convertidores estáticos completamente independientes, cuya función principal será suministrar energía eléctrica de baja tensión para alimentar de forma continua y segura todos los sistemas del tren: iluminación, climatización, ventilación, puertas, compresores, sistemas de información al viajero, mando y control, señalización, carga de baterías, entre otros.

2.3.1.2.1 *Requisitos funcionales generales*

La puesta en marcha y desconexión de los convertidores se podrá realizar de forma manual o automática.

Los convertidores deberán funcionar automáticamente y sin necesidad de intervención específica para todas las tensiones nominales de las líneas L1, L2, L3 y L4, sin reducción de prestaciones, ni modificación de hardware o software.

El sistema deberá adaptar automáticamente sus parámetros operativos al rango de tensión de entrada.

No deberán producirse caídas apreciables ante transitorios de carga o picos de consumo.

La potencia del convertidor se dimensionará con todos los consumos funcionando simultáneamente a plena carga, debiéndose absorber las puntas de corriente generadas en la conexión y desconexión de los equipos que alimenta, sin que la tensión o frecuencia de salida salgan de los márgenes de tolerancia especificados.

En caso de fallo de uno de los convertidores de alimentación auxiliar, el sistema deberá ser capaz de alimentar todo el tren desde un solo convertidor, manteniéndose operativos todos los sistemas esenciales, incluidos el aire acondicionado, ventilación forzada, iluminación, control y comunicaciones.

En fase de proyecto se entregará un balance de cargas con los consumos de todos los equipos, y estará sujeto a aprobación por parte de FMB.

El convertidor incluirá sensores de tensión, corriente, temperatura y otras magnitudes relevantes, accesibles en tiempo real desde la pantalla del puesto de conducción y publicadas en el sistema informático embarcado.

2.3.1.2.2 *Requisitos constructivos y de montaje*

Deberán instalarse en ubicación de fácil acceso para tareas de mantenimiento.

Su diseño permitirá el desmontaje sin tener que desmontar otros elementos del bastidor.

Tras su encendido, deberá garantizarse el inicio de suministro en un máximo de 5 segundos.

Se dotarán de protecciones contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensión, subtensión, sobretemperatura y fallos internos. Todas las protecciones cuando actúen deberán informar al sistema informático embarcado.

La zona de control electrónico dispondrá de protección IP65 según IEC 60529 y estará separada de la zona de alta tensión. Las zonas abiertas también deberán estar debidamente protegidas, y el conjunto cumplirá el nivel de protección a determinar por el fabricante del equipo.

Incorporarán un sistema de descarga automática de condensadores y un indicador visual de ausencia de tensión claramente visible.

Los módulos, tarjetas o unidades electrónicas de control deberán estar ubicados en zonas accesibles para mantenimiento, separados y protegidos frente a la tensión de tracción, y diseñados de forma que permitan su identificación, diagnóstico y sustitución segura. Cuando sean extraíbles o sustituibles, deberán incorporar medios físicos, mecánicos, eléctricos o funcionales que impidan errores de montaje o conexión, así como indicaciones locales o remotas de estado y avería disponibles para mantenimiento y diagnóstico.

El diseño del convertidor será de manera tal que los circuitos de tensión de tracción estarán separados del resto, permitiendo acceder a zonas no sometidas a tensión de tracción con el equipo en servicio. Se garantizará la descarga segura de condensadores tras la desconexión y la ausencia de tensión mediante señalización luminosa visible.

2.3.1.2.3 *Generación y calidad del suministro*

La tensión de salida será de:

- 400 Vca $\pm 5\%$ a 50 Hz $\pm 1\%$, con distorsión armónica total (THD) inferior al 15%.
- Tensión para la carga de baterías: $\pm 1\%$ de la tensión en flotación.

El neutro deberá estar accesible para alimentar cargas monofásicas.

Será capaz de alimentar circuitos de climatización, compresores, ventiladores, carga de baterías y cualquier otro sistema definido durante el desarrollo del proyecto.

Se exigirá una reserva de capacidad mínima del 10% por encima de la potencia nominal total de carga.

Deberá justificarse en fase de proyecto el dimensionado de cada equipo alimentado, así como la tolerancia ante cortes breves de catenaria.

El filtro de entrada del convertidor se diseñará tanto para evitar la inyección de armónicos en la catenaria que pudieran afectar a otros equipos, como para filtrar la corriente de entrada del convertidor.

2.3.1.2.4 *Condiciones especiales de alimentación y funcionamiento*

Uno de los convertidores dispondrá de una toma exterior de 400 Vac 50 Hz, con neutro, para la alimentación en taller de todos los servicios auxiliares del coche de forma que no sea necesario que el grupo convertidor esté conectado a la línea de tensión de tracción. El Adjudicatario deberá tener en cuenta la diferencia de potencial entre tierras de los talleres y proponer la solución más adecuada. Si esta conexión está establecida se deberá asegurar automáticamente que la línea de salida del grupo convertidor está desconectada de la distribución.

El otro convertidor tendrá la capacidad de arrancar desde la tensión de catenaria, subiendo manualmente el pantógrafo, siempre y cuando exista presencia de tensión en catenaria. El Adjudicatario asegurará que dicha operación se realiza con todas las condiciones de seguridad requeridas, para ellos el Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá validar dicha operación y útiles a utilizar con FMB.

2.3.1.2.5 *Eficiencia y tecnología*

El rendimiento energético de cada convertidor deberá ser igual o superior al 94% desde carga media hasta plena carga, para todo el margen de tensión de entrada.

Los semiconductores de potencia serán de última generación.

2.3.1.2.6 *Supervisión, diagnóstico y comunicación*

Deberá incluir un sistema de autodiagnóstico capaz de identificar módulos, tarjetas o componentes con fallos. Se proporcionará un programa monitor que, a través de un Ordenador Portátil conectado al propio convertidor, o al sistema informático del tren, proporcione en tiempo real los parámetros de funcionamiento del convertidor, necesarios para su mantenimiento preventivo y correctivo.

Los convertidores tendrán una comunicación total con el sistema de control del tren, enviando estados, alarmas y parámetros operativos.

Los convertidores deberán reportar al sistema central del tren los siguientes estados funcionales:

- Operativo.
- Incidencia menor.
- Funcionamiento degradado.
- Fuera de servicio.

El sistema almacenará históricos con fechas, valores analógicos y digitales, accesibles desde la herramienta de mantenimiento.

Los datos deberán exportarse en formato estructurado, compatible con herramientas de análisis técnico.

La monitorización en tiempo real será posible mediante conexión de PC al convertidor y al sistema embarcado el tren pudiéndose visualizar desde la pantalla de conducción.

El sistema de comunicaciones del convertidor deberá ser plenamente compatible con el protocolo definido para el resto del tren.

2.3.1.2.7 *Resiliencia frente a fallo del sistema informático*

El convertidor deberá garantizar la continuidad de alimentación de servicios auxiliares incluso en caso de fallo total del sistema informático del tren. Esta función deberá estar justificada mediante un análisis detallado de los modos de mando y maniobra alternativos.

2.3.1.2.8 *Normativa aplicable*

Los convertidores estáticos deberán cumplir con las siguientes normas y regulaciones (versiones vigentes en fase de proyecto) y/o aquellas que el Adjudicatario justifique en fase de proyecto:

- EN 50155, EN 50124, EN 50125, EN 50163, EN 50207, EN 50121-3-2, IEC 61373, EN 45545.
- CEI 571-1, 571-2, 571-3, 411-5, CEI 1287-1, UIC 616.
- EN 61000-4-4 y EN 61000-4-5 (inmunidad electromagnética).
- IEC 62477-1 (seguridad funcional de convertidores de potencia).

Cualquier requisito adicional que derive del desarrollo del proyecto y que afecte al diseño, seguridad o interoperabilidad deberá ser validado por FMB.

2.3.2 Aparellaje eléctrico

2.3.2.1 Cables y canalizaciones

Todos los cables y sistemas de canalización del tren garantizarán un funcionamiento seguro, fiable y conforme con las exigencias del entorno ferroviario. Los elementos eléctricos y electrónicos montados en armarios serán plenamente accesibles desde el exterior de los armarios y sin necesidad de abrir otros montantes internos del armario, sin quedar en su parte interna o trasera, evitando configuraciones que dificulten el mantenimiento o aumenten el riesgo de fallo por sobrecalentamiento o acumulación de polvo.

Los materiales, disposición e instalación asegurarán la resistencia a condiciones ambientales adversas, vibraciones, interferencias electromagnéticas, impactos mecánicos y riesgos térmicos o químicos. El diseño del cableado minimizará las interferencias cruzadas, la longitud de los recorridos y la complejidad innecesaria.

2.3.2.1.1 *Tipología de cables y características técnicas*

Todos los cables utilizados cumplirán como mínimo con las siguientes normativas:

- EN 50264: para cables de potencia y señalización de baja tensión, de aislamiento termoplástico o elastomérico.
- EN 50306: para cables de baja potencia y control con reducido diámetro, especialmente en sistemas con alta densidad de conductores.
- EN 45545-2: requisitos de comportamiento frente al fuego HL2 o superior.
- UNE 20431 / UNE 20432: características específicas de resistencia dieléctrica, térmica y mecánica en cables de control y energía.

- U.I.C. 895: resistencia frente a aceites, combustibles y agentes químicos.
- UITP/APTA: se seguirán las recomendaciones del documento “Performance specifications for development of electric wire and cable with improved fire characteristics for use in underground transit systems”, especialmente las referidas a estándares CEI 332-1, NF C 32-070, IEEE 383 y NFPA 258.

Todos los cables serán ignífugos, autoextinguibles, libres de halógenos, con baja emisión de humos y gases corrosivos en caso de combustión, de acuerdo con EN 60332-1-2, EN 61034-2 y EN 50267-2-1/2.

2.3.2.1.2 *Instalación del cableado*

La instalación del cableado cumplirá con la norma UNE EN 50343, que establece los métodos de conexión, terminación y validación de cables eléctricos en vehículos ferroviarios, así como con los principios de seguridad mecánica definidos en 50155, EN 45545-2 y EN 50310 para continuidad equipotencial. Además, se tendrán en cuenta las recomendaciones UITP para seguridad eléctrica y resistencia a desgaste por vibración.

2.3.2.1.3 *Fijación segura y libre de desgaste*

Todos los cables irán perfectamente sujetos en canalizaciones, bandejas o tubos específicos, con elementos de fijación antideslizantes, resistentes a vibraciones, calor y humedad. No se permite el uso de bridas plásticas directamente sobre la estructura del vehículo o sobre elementos rígidos que puedan provocar desgaste por contacto. En su lugar, se emplearán abrazaderas de fijación ferroviarias, homologadas según EN 45545-2 y con soportes dieléctricos o cauchos de amortiguación para evitar microdesgaste.

Queda estrictamente prohibido el uso de fijaciones flotantes o con posibilidad de desplazamiento del cable con el paso del tiempo.

2.3.2.1.4 *Protección frente al roce y vibración*

Todos los tramos de cable que discurran en contacto o cercanía con partes estructurales o metálicas del tren estarán encapsulados o forrados con mangueras protectoras o fundas antiabrasivas de alto rendimiento. Así mismo, se protegerán dichas partes estructurales o metálicas, recubriendo los cantos con elementos adecuados para tal fin.

En los puntos donde el cable atraviese divisiones estructurales (mamparos, suelos, cajas, etc.), se utilizarán pasamuros certificados (EN 45545-2 HL2 o superior) que impidan cortes por bordes

metálicos. No se permitirá en ninguna circunstancia el paso directo de cableado a través de chapa o estructuras sin protección mecánica.

Los radios de curvatura deberán cumplir lo establecido en 50343, respetando un mínimo de $6 \times$ el diámetro exterior del cable. En el caso de cables apantallados, se aplicarán criterios más exigentes.

2.3.2.1.5 *Tensiones mecánicas y holguras*

Queda prohibido cualquier diseño que permita holgura, lazo o tensión residual en cables, especialmente en zonas móviles o articuladas (bogies, puertas, pasarelas). En estas zonas se instalarán bucles de servicio calculados, con topología de reserva controlada, que minimicen la tensión y eviten flexiones cíclicas de alto ángulo.

2.3.2.1.6 *Distribución, agrupamiento y señalización*

Los circuitos de potencia principal, potencia auxiliar, baja tensión y comunicaciones se instalarán por separado en canalizaciones independientes, físicamente segregadas, y con apantallamiento si se requiere para evitar interferencias, conforme a los principios de la EN 50121-3-2.

El recorrido del cableado será continuo, sin empalmes intermedios, salvo en cajas de conexión autorizadas.

Todo cable será identificado en ambos extremos con etiquetas duraderas, resistentes al fuego, UV y disolventes. El sistema de codificación será validado durante la fase de Ingeniería de proyecto.

Los extremos de los cables se conectarán a terminales mecánicos tipo crimpado, sin uso de soldaduras. Para señal y control se emplearán conexiones tipo Faston o bornas de presión, según la categoría y conforme a EN 60999-1.

Queda expresamente prohibido el uso de puentes de cable entre bornes adyacentes.

2.3.2.1.7 *Seguridad eléctrica y protección*

Todos los cables estarán protegidos frente a sobrecorriente y cortocircuito mediante fusibles o interruptores selectivos, de modo que solo se desconecte el circuito afectado, sin propagar la anomalía.

El dimensionado de las protecciones deberá considerar la resistencia propia del cableado, su capacidad térmica y la corriente de cortocircuito del sistema.

En los recorridos de alta tensión, los cables deberán discurrir por recintos o canalizaciones protegidas, cerradas o cubiertas, de modo que no resulten accesibles al personal sin desmontaje de protección o sin el uso de útiles, garantizando la seguridad conforme a EN 50153.

Los pasos de cables a través de mamparos, suelos, techos o divisiones estructurales deberán ejecutarse mediante pasamuros, prensaestopas, bocas de paso, protección de bordes o sistemas equivalentes aprobados, garantizando la protección mecánica, el aislamiento eléctrico y la fijación del cableado.

2.3.2.1.8 Validación

En fase de Ingeniería de Proyecto, el Adjudicatario presentará a FMB:

- El modelo 3D de armarios eléctricos.
- La propuesta de enrutado completo del cableado.
- El sistema de identificación y etiquetado.

Tres meses antes de la entrega del primer tren, se deberá proporcionar:

- Listado completo de cables montados, incluyendo: tipo, sección, longitud, interconexiones y función.
- Planos de recorrido, fijación y agrupamiento.
- Justificación del cumplimiento de las normas citadas.

2.3.2.2 Paso eléctrico entre coches

El paso eléctrico entre coches se realizará exclusivamente mediante mangueras aéreas desmontables y enchufables por ambos lados, conectadas en los testeros por ambos lados. Este sistema deberá asegurar una conexión fiable, estanca y resistente frente a condiciones dinámicas, térmicas y ambientales propias de la explotación ferroviaria.

Cada extremo de manguera dispondrá de conectores ferroviarios de tipo industrial reforzado, adecuados para las corrientes, tensiones y protocolos de comunicación empleados. Los conectores deberán estar equipados con mecanismos de cierre seguros, y contar con grado de protección mínimo IP67 conforme a la EN 60529, con resistencia a impactos según IK08.

Deberán preverse soportes metálicos o amortiguados, en ambos lados de los testeros, que mantenga fija la manguera. No se aceptarán bridas plásticas.

El soporte deberá evitar cualquier flexión excesiva del conector o de la manguera, y proteger mecánicamente la conexión de manipulación accidental.

Los conductores serán conformes a EN 50264 o EN 50306 según sección, con revestimiento ignífugo libre de halógenos conforme a EN 45545-2, clasificados como mínimo HL2.

Las mangueras deberán tener longitud suficiente y margen de reserva para permitir:

- Giro relativo de las cajas en las curvas de radio mínimo de vía definido para la explotación.
- Movimiento vertical, lateral y torsional debido a suspensión y bogies.
- Amplitudes de oscilación bajo carga dinámica y desacoplamiento temporal sin esfuerzo.

Se deberán evitar:

- Tensión residual en las mangueras en posición extrema.
- Contacto con los topes, bogies, faldones o estructuras.
- Cuelgues que puedan entrar en el gálibo dinámico o rocen con la vía.

El Adjudicatario deberá simular y justificar estos movimientos mediante análisis cinemáticos o prototipos, y someter a la aprobación de FMB las características geométricas y el diseño funcional de los conectores y mangueras.

Todos los circuitos eléctricos deberán contar con protecciones individualizadas adecuadas para el tipo de servicio, garantizando la desconexión selectiva en caso de fallo o cortocircuito, conforme a la normativa EN 50153 (protección de personas frente a tensiones peligrosas).

Las conexiones deberán garantizar baja resistencia de contacto, evitar falsos contactos y permitir desconexión rápida sin riesgo eléctrico.

Se prohíben las conexiones soldadas. Todos los terminales deberán ser del tipo crimpado industrial o multicontacto de alta fiabilidad.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar para aprobación de FMB:

- Esquemas eléctricos del paso entre coches.
- Modelo 3D de conectores y disposición en testers.

- Justificación del comportamiento en curva y dinámica de circulación.
- Propuesta de codificación, identificación y protección mecánica.
- Listado de circuitos que atraviesan cada manguera.

2.3.2.3 Arquitectura de seccionamiento eléctrico del tren

El tren deberá disponer de una arquitectura eléctrica que permita la sectorización, seccionamiento o aislamiento funcional de líneas, equipos o grupos de equipos, con el objetivo de limitar los efectos de una avería localizada y mantener la máxima disponibilidad operativa posible en modo degradado, sin comprometer las funciones de seguridad.

El Adjudicatario deberá definir y justificar en fase de proyecto la estrategia de seccionamiento, aislamiento y segregación funcional del tren. Dicha justificación deberá identificar las líneas de tren, circuitos, equipos o grupos funcionales que pueden ser seccionados o aislados, así como los medios previstos para realizar dicho aislamiento, ya sean seccionadores, contactores, protecciones, lógica de control u otros sistemas equivalentes. Asimismo, deberá describir las condiciones de explotación degradada admisibles tras el aislamiento de una avería, indicando los sistemas que permanecen operativos, los sistemas que quedan fuera de servicio, las maniobras necesarias para permitir el movimiento seguro del tren hasta una zona de retirada o intervención y las limitaciones operativas asociadas.

El diseño deberá permitir que una avería localizada en una parte del tren pueda ser aislada, de forma que el tren pueda continuar en modo degradado o ser retirado de la línea de forma segura, siempre que se mantengan las funciones mínimas necesarias de tracción, freno, alimentación auxiliar, mando y control, comunicaciones y seguridad.

Cuando la solución propuesta no contemple la circulación autónoma de una composición parcial físicamente separada, el Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto la arquitectura funcional prevista y demostrar cómo se garantiza el aislamiento de averías, la continuidad de las funciones necesarias y la retirada segura del tren en modo degradado.

El número de seccionadores, aislamiento de averías, circulación degradada, las líneas incluidas, su ubicación, modo de actuación e identificación mediante placas deberán ser definidos y justificados por el Adjudicatario en fase de proyecto.

2.3.2.4 Conectores

Todos los conectores utilizados en los sistemas y equipos del tren deberán cumplir con requisitos específicos de fiabilidad, resistencia ambiental, compatibilidad electromagnética y facilidad de

mantenimiento, propios de aplicaciones ferroviarias. Su selección e instalación deberán garantizar la continuidad eléctrica, la seguridad operacional y la facilidad de intervención en condiciones reales de explotación.

Todos los conectores instalados en los sistemas y equipos del tren se seleccionarán atendiendo a:

- Su idoneidad para la función que tienen que realizar en función del tipo de señales eléctricas transmitidas, así como de las características constructivas y mecánicas requeridas en cada caso.
- Se instalarán conectores homologados para aplicación ferroviaria, según normativa vigente.
- Se deberán escoger modelos con diversas fuentes de suministro, para evitar dependencias de fabricantes.
- Para minimizar el stock de mantenimiento, el Adjudicatario deberá reducir al máximo la diversidad de conectores implementados en el tren, empleando el máximo de conectores del mismo tipo, aunque queden pines libres.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de Proyecto, atendiendo a su función y localización en el tren, la elección de los conectores en función de:

- Material de la carcasa y tipo de protección aplicada.
- Características constructivas de los pines (material, acabado, etc.).
- Reparabilidad (facilidad de sustitución del conector completo o de sus pines).
- Retención de contacto.
- Rigidez dieléctrica (adecuada a las tensiones eléctricas y condiciones ambientales en cada caso).
- Choque térmico (inalterable frente a calentamiento o enfriamiento rápido por cualquier causa).
- Vibraciones a soportar en el tren sin pérdida de contacto.
- Choque físico (impactos transmitidos por el arranque o parada de equipos).

- Número de conexiones y desconexiones que se pueden efectuar sin que el conector pierda sus características mecánicas y eléctricas nominales.
- Rango de temperatura de trabajo.
- Resistencia eléctrica de aislamiento entre contactos (adecuada a las tensiones eléctricas y condiciones ambientales en cada caso).
- Humedad, proyecciones de agua corrosiva.
- Estanqueidad frente a polvo y agua.

La elección de los conectores situados en el exterior de los coches se efectuará teniendo en cuenta para cada caso las condiciones particulares de trabajo, como son salpicaduras de agua salina, lavado en túnel, detergentes, polvo, así como otras condiciones ambientales que puedan ocasionar el deterioro y corrosión de los mismos. Se deberá cumplir con los requisitos IP65 como mínimo, de acuerdo con la norma EN 60529.

Los conectores a implementar en el tren deberán ser sometidos a la aprobación de FMB, para lo cual el Adjudicatario, en fase de Proyecto, aportará datos de diferentes fabricantes de conectores homologados para aplicación ferroviaria. A tal efecto se aportarán referencias de los conectores empleados en otras explotaciones ferroviarias de similares características a FMB, con datos reales de la fiabilidad de estos.

Todos los conectores del tren deberán disponer de un sistema de enclavamiento o retención que impida su aflojamiento por vibraciones. Su desconexión deberá ser sencilla y mantenible, sin herramientas especiales salvo justificación técnica, y deberán incorporar codificación o medios equivalentes que eviten errores de conexión o inserción.

En cumplimiento de lo establecido en el Real Decreto 614/2001, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, todos los conectores en baja tensión, en especial los relacionados con sistemas de baterías ubicados en armarios eléctricos accesibles desde zonas de pasaje, deberán disponer de sistemas de aislamiento físico robusto, de manera que se evite el contacto accidental con elementos bajo tensión. Dicho sistema de aislamiento deberá ser validado por FMB en fase de proyecto.

2.3.2.5 Relés de maniobra

Los relés, contactores, módulos de interfaz y módulos de conmutación instalados en el tren deberán ser adecuados para aplicaciones ferroviarias y para las condiciones reales de servicio, instalación y mantenimiento del tren. La tecnología empleada podrá ser electromecánica, de

estado sólido o una combinación de ambas, siempre que se justifique su idoneidad técnica para la función concreta a realizar.

La selección de cada componente deberá realizarse atendiendo, como mínimo, a la función desempeñada, criticidad de la maniobra, frecuencia de conmutación, tipo de carga, tensión e intensidad conmutada, naturaleza de la carga, condiciones ambientales, requisitos de aislamiento, mantenibilidad, diagnóstico y consecuencias de su fallo sobre la seguridad, disponibilidad y operación del tren.

Los relés electromecánicos, contactores y módulos de relé deberán cumplir las normas aplicables al tipo de componente, incluyendo, cuando proceda, EN 60077-1, EN 60077-2, IEC/EN 61810-1, EN 50121-3-2, EN 61373, EN 45545-2 e IEC/EN 60529.

En funciones de seguridad o en aquellas en las que sea necesaria la supervisión mediante contactos guiados o forzados, se emplearán relés adecuados conforme a IEC/EN 61810-3, o norma equivalente aplicable. El uso de relés con contactos guiados deberá estar justificado dentro del análisis de seguridad de la función correspondiente.

Se admitirá el empleo de relés de estado sólido, módulos semiconductores o módulos electrónicos de conmutación en aquellas funciones en las que resulten técnicamente adecuados, especialmente en maniobras de elevada frecuencia, señales de mando, interfaces con el sistema informático del tren, salidas auxiliares o cargas de baja potencia. Estos componentes deberán estar diseñados o certificados para aplicación ferroviaria y cumplir, cuando aplique, EN 50155, EN 50121-3-2, IEC/EN 62314, EN 61373, EN 45545-2 e IEC/EN 60529.

No se admitirán relés de estado sólido en funciones en las que se requiera apertura física de contactos, aislamiento positivo, contacto mecánico guiado, corte seguro de energía o comportamiento fail-safe que no pueda ser demostrado mediante el diseño del circuito, salvo justificación específica aceptada por FMB.

Todos los componentes deberán operar correctamente dentro de los márgenes de tensión, temperatura, humedad, vibración, choque, contaminación y condiciones ambientales definidas para el tren y para su ubicación concreta. En particular, deberá justificarse el comportamiento frente a variaciones de tensión de alimentación, calentamiento interno de armarios y cofres, disipación térmica, envejecimiento y funcionamiento continuado.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar un estudio técnico de las funciones que requieran relés, contactores o módulos de conmutación, incluyendo como mínimo:

- función realizada y criticidad;

- tecnología propuesta: electromecánica, estado sólido o híbrida;
- tensión e intensidad de mando y de carga;
- tipo de carga conmutada: resistiva, inductiva, capacitiva, electrónica u otra;
- frecuencia estimada de maniobras durante la vida útil del tren;
- vida útil mecánica y eléctrica, cuando aplique;
- potencia disipada y temperatura prevista en servicio;
- corriente de fuga, caída de tensión y comportamiento en estado abierto/cerrado, en el caso de relés de estado sólido;
- modo de fallo predominante y consecuencias del fallo;
- protecciones frente a cortocircuitos, sobretensiones, inversión de polaridad y transitorios;
- necesidades de diagnóstico, señalización de estado y mantenibilidad;
- referencias de uso ferroviario en material rodante similar.

Los componentes deberán incorporar, cuando sea necesario, protección frente a sobretensiones generadas por bobinas, cargas inductivas o transitorios de conmutación, mediante diodos de rueda libre, varistores, redes RC, supresores transitorios u otros dispositivos equivalentes. Dichas protecciones deberán evitar la propagación de perturbaciones a otros equipos del tren y contribuir al cumplimiento de los requisitos de compatibilidad electromagnética.

Los relés, contactores y módulos de conmutación deberán ser modulares y sustituibles de forma sencilla. En el caso de relés electromecánicos enchufables, se dispondrá de zócalo fijo cableado al tren y sistema de retención mecánica que impida su desconexión involuntaria por vibración o choque. En el caso de módulos de estado sólido o módulos electrónicos, se aceptarán soluciones en carril DIN, módulos enchufables, bornes de interfaz o tarjetas reemplazables, siempre que permitan una sustitución rápida, segura y sin modificación del cableado del tren.

Todos los componentes deberán estar identificados de forma clara e inequívoca, incluyendo referencia funcional, tensión nominal, tipo de señal o carga asociada y codificación conforme a la documentación eléctrica del tren. La solución adoptada deberá favorecer la estandarización de componentes, la reducción de variantes, la disponibilidad de repuestos y la mantenibilidad durante toda la vida útil del tren.

El Adjudicatario deberá presentar a FMB, para su validación en fase de proyecto, la relación completa de relés, contactores, módulos de interfaz y módulos de conmutación previstos, junto con sus fichas técnicas, certificados, curvas de carga, límites de conmutación, vida útil, condiciones de instalación y justificación de idoneidad para cada aplicación.

2.3.2.6 Tomas de 230V AC

Se instalarán tomas de 230V AC tipo Shuko con toma de tierra, en ambas cabinas de conducción y en cada uno de los coches. El número, modelo, disposición y potencia disponible en las tomas será definido en la fase de proyecto por FMB.

2.3.3 Faros y pilotos indicadores externos

Los dispositivos de iluminación exterior del frontal del tren deberán cumplir la norma UNE-EN 15153-3, en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato en lo relativo al color, intensidad luminosa, alineación del eje óptico y demás características aplicables a su función. El Adjudicatario deberá justificar dicho cumplimiento mediante la documentación técnica y los ensayos correspondientes.

Los dispositivos de iluminación exterior del tren deberán ser gobernables desde la cabina de conducción. Desde la posición normal de conducción, el personal de conducción deberá poder controlar los dispositivos de iluminación exterior frontal, así como las luces de cola. Este control podrá realizarse mediante mandos automáticos, mandos independientes o combinados.

A cada lado de la parte inferior del testero de cabina, se situarán los faros para iluminación del túnel (luz blanca), con la funcionalidad de iluminación cortas y largas. Los dos focos de cabeza blancos estarán situados a la misma altura y dispuestos simétricamente respecto a la línea central del vehículo. Sus centros geométricos estarán situados por encima del nivel del suelo de la cabina del personal de conducción o del compartimento de viajeros, el que sea más bajo, y la distancia entre sus centros geométricos no será inferior al 50 % del ancho del vehículo. La instalación de los focos de cabeza de la unidad proporcionará un medio de ajuste de la alineación de su eje óptico cuando estén instalados en la unidad. Toda la iluminación será tipo LED. Dichas lámparas serán fácilmente sustituibles en un tiempo máximo de 5 minutos. Mediante esta iluminación se podrá circular:

- 1) Con luces cortas y largas simultáneamente.
- 2) Sólo con luz corta.
- 3) Con luces totalmente apagadas.

En cada lado de la parte superior del testero y en función del diseño frontal del tren, se colocarán los grupos ópticos de leds blancos y rojos.

Las luces rojas y blancas de posición funcionarán directamente asociadas al sentido de marcha seleccionado, de forma que cuando la selección implique movimiento hacia adelante, se apaguen las luces rojas del lado de la cabina de conducción y se enciendan las luces blancas de la misma, y si la selección es marcha atrás, deberá generarse la misma secuencia en el testero de la cabina contraria.

Se iluminarán los dos módulos rojos de ambos testeros cuando en el tren no esté conectada ninguna llave de gobierno o no se haya seleccionado dirección (en conducción manual) o el sistema de conducción automática no haya tomado el control del tren en una determinada dirección.

Para el mando manual de los faros existirán en el pupitre de conducción pulsadores independientes para el encendido y apagado de los faros de iluminación de túnel en modo luz corta y luz larga. Estos pulsadores se situarán en el puesto de conducción de forma diferenciada y distanciada del resto de mandos. Cuando alguno de estos pulsadores esté activado, deberá disponer de indicación luminosa asociada.

La lógica de mando de los faros deberá permitir, como mínimo, los siguientes estados funcionales: luces cortas encendidas, luces cortas y largas encendidas simultáneamente, y faros apagados.

La actuación sobre los pulsadores de luces cortas y largas, en cualquier orden, combinación o secuencia temporal, no podrá generar averías, disparos intempestivos, estados indeterminados, picos de corriente perjudiciales ni solicitudes eléctricas superiores a las admisibles por los propios pulsadores, relés, contactores, fuentes de alimentación, módulos LED o equipos electrónicos asociados.

El circuito de mando y potencia de los faros deberá estar diseñado de forma que los pulsadores de pupitre no soporten directamente corrientes de conexión, corrientes de carga de condensadores, corrientes de arranque de fuentes conmutadas ni ningún otro transitorio incompatible con su vida útil. Cuando sea necesario, deberán disponerse relés, contactores, módulos de mando, limitación de corriente, temporizaciones, enclavamientos eléctricos o cualquier otra protección adecuada.

En el exterior del tren se instalarán pilotos indicadores LED de alta intensidad, con el objetivo de informar visualmente sobre el estado de diversos sistemas del vehículo. Todos los faros e

indicadores estarán alimentados a 24 Vcc, tendrán un grado de protección mínimo IP65, y deberán ser visibles desde cualquier punto del andén.

El diseño y funcionalidad de todos los faros y pilotos indicadores se someterán a la aprobación de FMB durante el desarrollo del proyecto.

Dichos pilotos indicadores se ubicarán en los laterales exteriores de cada coche lado Vía 1 y lado Vía 2.

En la parte superior y en el centro de cada lateral exterior de cada coche (uno por lado), se dispondrán los siguientes tres pilotos indicadores luminosos con las siguientes características:

- Altura aproximada: 2 metros sobre el nivel del piso del coche.
- Sustitución: Todos los pilotos indicadores serán sustituibles desde el interior de la caja en un tiempo inferior a 15 minutos, sin necesidad de desmontar ningún otro equipo.

Los pilotos indicadores serán los siguientes:

a) Piloto indicador blanco – Estado del lazo de puertas

Se enciende en blanco fijo cuando alguna puerta del lateral correspondiente (puertas de acceso, cabina o evacuación) no esté correctamente cerrada.

Se apaga automáticamente cuando todas las puertas de ese lateral y coche están cerradas.

b) Piloto indicador rojo – Alerta de cierre de puertas

Durante la habilitación o apertura de puertas: apagado.

Durante el aviso acústico de cierre: se enciende en rojo de manera intermitente.

Durante el cierre de puertas: continúa intermitente en rojo.

Una vez completado el cierre de todas las puertas del coche: se apaga.

c) Piloto indicador ámbar – Activación de alarma de pasaje

Se enciende en ámbar fijo únicamente cuando esté accionado algún tirador de alarma de pasaje en el coche correspondiente.

En los coches equipados con cabina de conducción, se dispondrán además de los anteriores pilotos indicadores el siguiente piloto indicador:

a) Piloto indicador azul – Activación de modo especial (ATP/ATO)

Se enciende en azul fijo cuando se activa el selector de modo especial o M+25 del sistema de conducción automática (ATP/ATO) activo en ese momento.

2.3.4 Circuitos y dispositivos de seguridad

Los lazos de seguridad son circuitos eléctricos que recorren el tren de extremo a extremo, conectando todos los equipos y dispositivos que pueden ordenar el frenado del tren o el corte del esfuerzo de tracción, cuando existan condiciones que afecten a la seguridad de este o de los pasajeros. Normalmente estos lazos están cerrados eléctricamente, pero cuando alguno de los elementos abre el circuito, se activa el freno de emergencia y/o se elimina de manera segura el esfuerzo de tracción.

La activación del freno de emergencia implicará:

- a) transmisión de la orden por la línea/lazo de control de freno a lo largo del tren.
- b) corte total del esfuerzo de tracción en menos de 1,5 s, no pudiendo restablecerse hasta la anulación de la orden de tracción por el personal a la conducción.
- c) inhibición de cualquier orden/actuación de liberación del freno mientras permanezca activa la orden de freno de emergencia.
- d) La activación del freno de emergencia implicará el frenado del tren hasta velocidad cero. Se exceptúa de este criterio la activación derivada de la función de hombre muerto, que podrá ser rearmada antes de la detención completa del tren mediante la actuación válida del personal de conducción sobre el manipulador de tracción, siempre que se cumplan las condiciones de seguridad definidas para dicha función.

Existirán principalmente dos lazos de seguridad, aunque el Adjudicatario podrá proponer variaciones sobre estos que deberán ser aprobadas por FMB:

- Lazo de tracción.
- Lazo de freno.

Para anular cada uno de los lazos se deberá accionar un “pulsador-interruptor” de seguridad, emplazado en el puesto de conducción con mando del tren (bypass lazo de tracción/bypass lazo de freno). Dichos pulsadores estarán convenientemente precintados, debiéndose romper totalmente el precinto para poder presionarlo, dicho precinto deberá ser aprobado por FMB en fase de proyecto. Será de color rojo y se iluminará al estar pulsado. Será posible visualizar el estado de los diferentes lazos de seguridad (abierto, cerrado) en la pantalla de conducción.

El funcionamiento de los lazos de seguridad estarán monitorizados, al menos, a nivel de coche.

También se podrán anular intervenciones de ciertos elementos en los lazos mediante el accionamiento de los correspondientes “pulsadores-interruptores” de seguridad, emplazados en

el puesto de conducción con mando del tren. (Bypass lazo parcial de un elemento). Dichos pulsadores serán de igual características al anterior.

La relación de sistemas que contarán con un by-pass específico para anular su actuación sobre los lazos de seguridad se concretará conjuntamente entre el Adjudicatario y FMB durante la fase de proyecto.

El recorrido del circuito de lazo por los coches será por conductos independientes del resto de la instalación.

2.3.4.1 Lazo de tracción

El lazo de tracción se implementará mediante un cable unipolar blindado con gran resistencia a la abrasión. Este circuito eléctrico se diseñará con técnicas failsafe, con especial atención a derivaciones de cableado que puedan comprometer la correcta funcionalidad del lazo.

La apertura del lazo de tracción provocará:

- El corte de la tracción en todos los coches motores, con apertura del contactor de tracción.
- La activación de una señalización en el puesto de conducción mediante un aviso de fallo automático a través de la pantalla de monitorización con indicación del elemento y la causa que ha provocado la apertura del lazo.

La apertura del lazo de tracción se producirá cuando:

- a) En conducción manual el selector de marcha no está en "0" en el puesto de conducción sin mando.
- b) No se encuentra activa la orden de cerrar puertas, en la línea de cierre de puertas.
- c) No todas las puertas del tren se encuentran cerradas y enclavadas.
- d) Cuando exista orden de autorización de apertura de puertas.
- e) Se desacople un tren, quedando frenados los dos trenes desacoplados.
- f) Lo demande el ATP.
- g) Lo demande la central de freno.
- h) En freno de estacionamiento no se encuentre aflojado.

- i) La alimentación exterior de B.T. de apoyo al tren esté conectada.

El Adjudicatario, en fase de Proyecto, indicará y justificará aquellas situaciones no contempladas en este documento que sea necesario abrir el lazo de tracción.

2.3.4.2 Lazo de freno

El lazo de freno se implementará mediante un cable unipolar blindado con gran resistencia a la abrasión. Este circuito eléctrico se diseñará con técnicas failsafe, con especial atención a derivaciones de cableado que puedan comprometer la correcta funcionalidad del lazo.

La apertura del lazo de freno provocará:

- El corte de la tracción en todos los coches motores, con apertura del contactor de tracción.
- La aplicación de la máxima presión de freno neumático manteniendo los equipos de antibloqueo activos.
- La activación de una señalización en el puesto de conducción mediante un aviso de fallo automático a través de la pantalla de monitorización con indicación del elemento y la causa que ha provocado la apertura del lazo.

La apertura del lazo de freno se producirá cuando:

- a) Se desacople un tren formado durante el servicio, quedando frenadas las dos partes del tren.
- b) Se accione cualquiera de los aparatos de alarma situados en el departamento de pasajeros, durante los primeros 45 metros recorridos desde la reanudación de la marcha en una estación (esta distancia se deberá poder configurar de una forma segura). En el caso de conducción automática sin personal de conducción, la funcionalidad se definirá en la fase de proyecto.
- c) Se active el sistema antidrag en los primeros 100 metros recorridos desde la reanudación de la marcha en una estación (esta distancia se deberá poder configurar de una forma segura).
- d) Apertura del lazo de puertas.
- e) El Adjudicatario deberá asegurar que, ante una situación real de falta de presión de aire en el tren, nunca pueda producirse la anulación del lazo Emergencia.

- f) El ATP no se encuentre operativo y el Tren-Stop haga petición de freno. El Tren-Stop abrirá el lazo cuando: se rebase un semáforo rojo, se rebase una baliza de velocidad a mayor velocidad que la permitida por la baliza y cuando el Tren-Stop no detecte una baliza de semáforo entre balizas de estaciones. Cuando exceda la distancia a la que debía de encontrar la baliza de reseteo y carga de distancia (estación) y cualquier otra situación que el equipo Tren-Stop considere que afecta a la seguridad del tren.
- g) El equipo ATP demande freno de emergencia.
- h) El sistema de conducción automática sin personal de conducción haga petición de freno de emergencia.
- i) Se active el sistema de detección de descarrilo.
- j) Se active la seta de emergencia.
- k) Sobrevelocidad.
- l) Se active hombre muerto.
- m) Se solicite frenado de emergencia mediante el manipulador de tracción/freno (posición F7).
- n) El selector de marcha se encuentre en posición neutra.
- o) Ninguna cabina del tren se encuentre activa.

El Adjudicatario, en fase de Proyecto, indicará y justificará aquellas situaciones no contempladas en este documento que sea necesario abrir el lazo de freno.

2.3.4.3 Seta de emergencia

La seta de emergencia es un pulsador con enclavamiento situado en el puesto de conducción que permite demandar la aplicación de freno de emergencia desde el puesto con mando de tren, en aquellas situaciones que se consideren que afectan a la seguridad del tren.

Se podrá accionar la seta desde ambos puestos de conducción, sin estar condicionada a que cualquiera de estos tenga cabina habilitada.

Su actuación provocará las siguientes acciones:

- Apertura del lazo de tracción e inhibición de la tracción en todos los coches del tren.

- Apertura del circuito del lazo de freno, con aplicación del freno de emergencia y actuación del sistema antibloqueo en caso necesario. El sistema antibloqueo deberá diseñarse con todos los requerimientos de seguridad necesarios para cumplir con dicha función.

Tanto la activación de la seta de emergencia como el frenado del tren y la actuación del sistema antibloqueo (consecuencia de la activación de la seta) se realizará mediante un sistema de seguridad failsafe.

Este modo de freno es el de máximo nivel de seguridad de todos los disponibles en el tren. El Adjudicatario deberá demostrar en fase de proyecto que su nivel de seguridad resulta adecuado, mediante los correspondientes estudios frente a normativas y códigos prácticos que gocen de amplio reconocimiento en el sector ferroviario (normas EN, fichas U.I.C, especificaciones de interoperabilidad, etc.).

La activación debe ser por apertura de circuito eléctrico, y una vez accionado quedará enclavado mecánicamente siendo necesario desenclavarlo para su normalización. El estado de la seta de emergencia se señalará por un piloto luminoso que se iluminará al accionarla, al mismo tiempo que informa de su estado al sistema informático del tren.

El pulsador será del tipo “seta” siendo su color rojo y la base destacada en amarillo. El pulsador con enclavamiento empleado para la función de seta de emergencia debe estar homologado (ISO 13850, IEC 60947-5-5, ...) para accionamiento en maniobras de seguridad.

La ubicación en el puesto de conducción será aprobada por FMB en fase de proyecto, y debe cumplir:

- Fácil y rápido acceso para su accionamiento, pero evitando la posibilidad de accionamiento involuntario.
- En caso de conducción automática sin personal de conducción debe ser accesible mediante trampilla.

2.3.4.4 Pulsadores de anulación de protecciones

En los puestos de conducción se implementarán pulsadores de anulación de los siguientes elementos de seguridad del tren:

- Anulación Tren-Stop.
- Anulación lazo de tracción.

- Anulación lazo de freno.
- Anulación hombre muerto.
- Anulación lazo de puertas.
- Anulación antidrag.
- Anulación acceso cabina y toma de tren.
- Anulación freno de retención.

El personal de conducción podrá ver el estado de los diferentes by-passes en la pantalla de conducción. La actuación sobre los diferentes by-passes quedará grabada en la central de registro (caja negra) del tren.

El Adjudicatario propondrá aquellas anulaciones que considere necesarias o que surjan en la fase de proyecto y serán sometidos a la aprobación de FMB todos ellos.

En fase de proyecto se definirá aquellos que debe ser precintables. Para poder activarlos será necesario romper su precinto. Se iluminarán al activarse. Se validarán por FMB en fase de proyecto.

La ubicación en los puestos de conducción de los pulsadores-interruptores de anulación y reposición deberá ser aprobada por FMB.

En conducción automática sin personal de conducción se preverá que se pueda ordenar las anulaciones antes descritas mediante el envío de una orden del operador del CCM.

2.3.4.5 Tiradores de alarma

Se colocará un tirador de alarma en cada puerta, con intercomunicación con el personal a la conducción. Los tiradores de alarma se accionarán mediante un sistema con enclavamiento mecánico. Una vez accionada la palanca, ésta se enclavará. Se podrá efectuar la reposición de los tiradores accionados y enclavados remotamente desde el puesto de conducción con mando de tren o desde el CCM y localmente desde el tirador. En ningún caso podrán ser rearmados por el pasaje.

En caso de múltiples activaciones de tiradores de alarma, el reconocimiento por parte del personal de conducción del primer tirador activado iniciará el reconocimiento automático de todos los demás tiradores activados, hasta que todos ellos se rearmen.

Cuando el sistema de tiradores de alarma de viajeros esté aislado/bypass, se indicará de forma inequívoca en cabina (pantalla de monitorización).

La cabina de conducción dispondrá de un dispositivo, accesible únicamente a personal autorizado, que permita aislar el sistema de tiradores de alarma de viajeros. El estado 'aislado/no aislado' será indicado en la pantalla de monitorización.

Siempre que se accione alguno de los tiradores de alarma del tren y se esté en conducción manual:

- a) Se iluminará un piloto tipo LED localmente en el tirador de alarma activado que permita la identificación rápida de este.
- b) Se iluminarán los dos indicadores luminosos de color ámbar situados en ambos laterales del coche donde se ha accionado.
- c) La activación de uno o varios tiradores de alarma deberá señalizarse en el puesto de conducción mediante indicación luminosa y alarma acústica. La pantalla de conducción deberá identificar de forma inequívoca el tirador o tiradores accionados, indicando como mínimo el coche, puerta/lado y posición correspondiente.

La activación del tirador de alarma habilitará el canal de comunicación entre el pasaje y el puesto de conducción, de forma que el personal de conducción, previa confirmación, pueda establecer comunicación con la zona desde la que se ha accionado la alarma.

La alarma acústica podrá silenciarse mediante reconocimiento por parte del personal de conducción, sin que dicho reconocimiento implique la reposición del tirador ni la desaparición de la indicación luminosa o funcional de alarma activa. La indicación de alarma activa y la identificación del tirador accionado se mantendrán hasta que todos los tiradores accionados hayan sido rearmados.

La reposición o rearme de cada tirador accionado comportará la anulación de su señalización asociada. Una vez rearmados todos los tiradores accionados, se desactivará la indicación luminosa de alarma activa, se anulará la alarma acústica si aún permaneciera activa y se cerrará el canal de comunicación asociado con el pasaje.

En caso de activación múltiple, el reconocimiento del primer tirador activado comportará el reconocimiento automático del resto de tiradores accionados, manteniéndose la identificación individual de todos ellos hasta su rearme.

- d) A través del sistema de Interfonía del tren se establecerá una comunicación full-dúplex entre el personal de conducción y el pasajero.
- e) El comportamiento del sistema de tiradores de alarma dependerá de la distancia recorrida por el tren desde la salida de la última estación, tomando como referencia el instante de activación del tirador.

Si el tirador de alarma se acciona cuando el tren no haya superado los 45 metros desde la salida de la última estación, se aplicará el freno de emergencia hasta la detención completa del tren. Una vez iniciada dicha aplicación de freno de emergencia, esta se mantendrá hasta tren parado. Para poder liberar el freno será preciso reponer previamente el aparato de alarma accionado.

Si el tirador de alarma se acciona una vez superados los 45 metros desde la salida de la última estación, no se aplicará el freno de emergencia por esta causa. En este caso se mantendrán las funciones de señalización, identificación, registro y comunicación asociadas al tirador de alarma, conforme a lo definido en el presente pliego.

- f) La función de determinación de la distancia recorrida y de inhibición de la aplicación del freno de emergencia será realizada por el equipo de caja negra. No obstante, si el Adjudicatario considera que existe otro sistema más apropiado para realizar esta función, deberá justificarlo en fase de proyecto y someterlo a validación de FMB. En cualquier caso, el sistema responsable de dicha función deberá disponer del nivel de seguridad adecuado a la función realizada, incluyendo la determinación de la distancia recorrida, la decisión de aplicación o inhibición del freno de emergencia y la trazabilidad del evento.
- g) El equipo de video vigilancia fijará la imagen de las cámaras asociadas al tirador. La pantalla de información mostrará las señalizaciones de cada uno de los tiradores accionados, indicando cuál de ellos es con el que se ha establecido comunicación por megafonía en cada momento, que debe coincidir con el que aparece en la pantalla de video vigilancia.
- h) Desde la cabina de conducción se podrá ordenar la reposición del tirador.
- i) En el caso de no “reconocimiento” de la alarma al cabo de un tiempo establecido (15 segundos), el equipo de radiotelefonía dará conocimiento al CCM estableciendo comunicación CCM-pasaje. Este tiempo deberá ser configurable por FMB, así como la anulación de esta funcionalidad.

En conducción automática sin personal de conducción cuando se accione alguno de los tiradores de alarma del tren:

- a) Se establecerá una comunicación full-dúplex de audio y video con el operador del CCM.
- b) La comunicación podrá ser finalizada cuando el operador del CCM lo ordena.
- c) En el CCM se deberá recibir la información que identifique los tiradores accionados, indicando el tirador y tren con el que se ha establecido comunicación.
- d) El operador del CCM podrá ordenar la reposición del tirador mediante el envío de una orden a través del canal de comunicación bidireccional tren-tierra que en su momento se determine.
- e) En el caso de conducción automática sin personal de conducción la funcionalidad de la aplicación del freno de emergencia antes de que el tren recorra 45 metros desde la salida de la última estación se definirá en la fase de proyecto

El tipo y las características técnicas de los intercomunicadores de los tiradores de alarma tendrán que ser especificadas por el Adjudicatario, en fase de Proyecto.

Se debe garantizar la calidad de la comunicación acústica entre tirador de alarma y el puesto de conducción o CCM en cualquier circunstancia, para lo cual el Adjudicatario deberá aportar un estudio en fase de Proyecto, con las especificaciones de la sensibilidad que tendrá el micrófono en función de la dirección de procedencia del sonido y garantizar la atenuación del ruido ambiente captado por el micrófono.

El tirador de alarma y los intercomunicadores se instalarán juntos. En la señalización de estos se indicará la funcionalidad de cada uno de ellos.

2.3.4.6 Central de Registro (Caja Negra)

Existirán dos centrales de registro de datos o eventos (Caja Negra), por tren.

La central de registro obtendrá la medida de la velocidad del tren a partir de los ejes o señales que, a criterio justificado del Adjudicatario, proporcionen la medida más fiable, considerando los posibles efectos de patinaje y deslizamiento. La captación de velocidad podrá realizarse mediante captadores propios de la central de registro o mediante señales procedentes de otros sistemas embarcados, incluidos sistemas de seguridad del tren, siempre que se garantice la no interferencia con dichos sistemas, la trazabilidad de la señal, la detección de fallos y la

disponibilidad de la información requerida para el registro. Las señales se filtrarán adecuadamente para evitar registros erróneos debidos a ruidos eléctricos u otras perturbaciones.

El sistema de captación de velocidad deberá permitir registrar la velocidad del tren, el sentido de marcha y el estado de tren detenido/velocidad cero, con un rango de medida que cubra desde la condición de tren parado hasta una velocidad superior a la velocidad de aplicación del freno de emergencia por sobrevelocidad. El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto la justificación técnica de la arquitectura propuesta, indicando origen de las señales, número de canales, redundancia, resolución, precisión, linealidad, filtrado, latencia, tratamiento frente a patinaje/deslizamiento, detección de fallo y comportamiento en modos degradados, quedando la solución sometida a aprobación de FMB.

El sistema de captación de velocidad debe ser redundado en cada uno de los equipos de Caja Negra, siendo capaz de detectar cualquier fallo del captador.

El sistema deberá incorporar una función automática de prevención de retroceso en pendiente (anti-roll-back) que impida el desplazamiento no intencionado hacia atrás del tren cuando esté detenido, especialmente en pendientes ascendentes, y no exista orden de tracción activa. Esta función deberá activarse de forma automática en cuanto el tren se detenga, y mantenerse hasta que se ordene la tracción hacia adelante o se habilite explícitamente una maniobra de retroceso desde cabina. El sistema deberá operar tanto en condiciones normales como en condiciones degradadas de servicio, y deberá garantizar que:

- El tren permanece inmóvil en pendientes máximas previstas en la infraestructura.
- No se produce retroceso durante la transición entre frenado y tracción.
- No se requiere intervención activa del conductor para su funcionamiento normal.
- Se coordinará con el resto de los equipos como el ATP-ATO.

El Adjudicatario deberá demostrar el cumplimiento mediante simulaciones, ensayos de validación en vía y documentación técnica durante la fase de proyecto, incluyendo pendientes representativas del trazado previsto para la explotación.

Esta función la podrá realizar otro equipo si así se justifica debidamente en fase de proyecto.

El valor numérico del diámetro de ruedas se podrá introducir desde el propio equipo Caja Negra y desde el puesto de conducción por pantalla de monitorización. Este valor estará acotado entre los máximos y mínimos admisibles por la rueda, no permitiendo introducir valores fuera de estas

cotas. El diámetro de ruedas se introducirá en un solo equipo y todos los demás equipos recibirán esta información a través del bus (ATP, tren stop, caja negra, tracción, etc.).

Este equipo dispondrá de una memoria que permita el registro de las señales con dos niveles de resolución y duración.

La Central de Registro adquirirá el estado de sus entradas (discretas o analógicas) con las siguientes características:

- Las entradas digitales son muestreadas cada 10 ms por el Grabador de Eventos.
- Las entradas analógicas son muestreadas cada 40 ms por el Grabador de Eventos.

Sobre dichas entradas se aplicará un filtrado por hardware y por software.

Cuando se produzca un cambio en el estado en cualquiera de las señales digitales y analógicas, se efectuará el registro en memoria de dicho estado y del nivel que tengan en dicho instante todas las señales y parámetros.

En el caso de las señales analógicas y de velocidad, para evitar el registro de ruido en una señal, se registrará una señal cuando se dé un valor de desviación porcentual mínimo, necesario de la señal de entrada respecto al último valor registrado.

La memoria tendrá capacidad suficiente para registrar todas las señales y entradas digitales, con la frecuencia mínima indicada, durante un intervalo mínimo de 60 días.

La arquitectura del equipo será modular, permitiendo ampliar las señales registradas en al menos un 20%.

El dispositivo de grabación tendrá como mínimo capacidad para registrar 32 entradas digitales cableadas, 4 entradas analógicas a definir en la fase de proyecto.

Entre las señales analógicas a registrar, estarán como mínimo:

- Velocidad del propio equipo (a partir de la velocidad se obtendrá la curva de aceleración que también se registrará).
- Velocidad del equipo ATP.
- Señal del esfuerzo desarrollado por los equipos de tracción y freno de la unidad.
- Señal de consigna (la demandada en conducción manual, o por el sistema de conducción automática).

- Tres entradas adicionales y configurables para tratamiento de señales.

Las señales a registrar, analógicas y digitales, se definirán en la fase de proyecto a partir de una propuesta inicial que deberá ser elaborada por parte del Adjudicatario y aprobada por FMB. Dicha propuesta inicial deberá incluir entre otros:

- señales e información del sistema del control a la circulación (TS, ATP, ATO, ...).
- aplicación del freno de emergencia.
- velocidad y aceleración del tren.
- Sentido de la marcha.
- inhibición o anulación de los sistemas del tren.
- accionamiento del dispositivo de aviso acústico.
- accionamiento de los mandos de puertas (apertura, cierre, autorización, ...).
- activación de sistemas de alarma a bordo (tiradores de alarma, Sistema de detección de incendios ...).
- identificación de la cabina activa a la conducción.
- Estado de lazos.
- Etc....

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto las variables registradas, la capacidad de almacenamiento, la frecuencia de muestreo y los criterios de conservación y descarga de la información.

El registro de las señales digitales directas y de las provenientes del bus deberá efectuarse de modo que no existan retardos que puedan conducir a una interpretación errónea del contexto de incidencias.

También grabará la posición del tren en la línea. En el caso de circular por Líneas con Tren-Stop en vía, se grabará el código de estación recibido por el equipo ATP o, en su defecto, por el Tren-Stop, con el nombre de la estación correspondiente.

Todas las señales registradas deberán estar identificadas en el tiempo y en el espacio, es decir, composición del tren, lugar y hora en que se ha producido el evento.

La presencia de modos degradados en el sistema informático no afectará al registro de las señales críticas para el análisis de incidencias.

El equipo de registro efectuará un auto-test en su puesta en marcha y cuando se le indique mediante las órdenes adecuadas. En caso de anomalía, deberá mostrarse una indicación de fallo y se enviará la señal de fallo al equipo informático y a la pantalla de monitorización.

La fecha y hora del tren será enviada desde el CCM. El tren sincronizará la hora de la caja negra a través de la red informática embarcada.

El Adjudicatario, en fase de Proyecto, podrá proponer una gestión alternativa del patrón de tiempo real, que será sometido a la aprobación de FMB.

Se deberá contemplar la existencia de horario de verano e invierno y deberá poder sincronizarse la hora de los trenes automáticamente o desde el CCM.

Los datos de numeración de coche, diámetro de ruedas, etc. le serán enviados al equipo mediante el sistema informático embarcado.

La recuperación de los datos registrados y su tratamiento se efectuarán mediante ordenador portátil. Para ello se suministrará el software necesario y éste debe funcionar bajo entorno Windows.

La extracción de los datos registrados por la Caja Negra se realizará mediante conexión segura según la política de Ciberseguridad de FMB. La extracción de los datos de la caja negra se podrá realizar también desde la cabina de conducción.

El programa de extracción de datos permitirá establecer el intervalo de tiempo de datos registrados que se desee extraer para su análisis.

El Adjudicatario, en fase de Proyecto, deberá someter a la aprobación de FMB el programa de extracción y análisis de los datos recuperados del equipo de registro, pudiendo ser objeto de rechazo el equipo en el caso que se considere que las prestaciones ofrecidas por el mismo sean insuficientes.

El módulo de soporte físico de los datos registrados (caja negra) será extraído fácilmente de su equipo en el tren e insertado en un útil especial de volcado de datos en banco sin necesidad de establecer configuraciones personalizadas. El borrado de los datos solamente se podrá efectuar mediante la clave apropiada. El Adjudicatario suministrará dicho útil con el software necesario.

El Equipo de registro (Caja Negra), donde permanecen los datos registrados, estará libre de todo mantenimiento.

La estructura de los datos registrados será abierta en un formato que permita su tratamiento mediante hoja de cálculo, o base de datos, para elaborar informes y estadísticas. Asimismo, para futuras ampliaciones de la red, el software del registrador debe permitir la incorporación de nuevas estaciones, así como la reconfiguración del nombre de señales digitales y analógicas, etc. El software del tratamiento de datos debe adecuarse fácilmente a estos cambios.

El equipo de registro tendrá detección de 45 y 100 metros de distancia recorrida, siendo este valor configurable por FMB. Esta señal de salida será empleada en la maniobra de los tiradores de alarma y antidrag, de acuerdo con lo especificado en el apartado dedicado a los mismos.

Dichas actuaciones estarán supervisadas por el propio equipo de registro, grabando e informando al puesto de conducción de un funcionamiento anómalo por medio del sistema informático de tren.

Se deberá poder efectuar un volcado remoto de datos registrados en la caja negra de cualquier tren hacia CCM o talleres.

La configuración por defecto del software de la caja negra será el correspondiente a la serie de trenes correspondiente al objeto del presente pliego. En caso de cambio de configuración (por ejemplo, modo pruebas, forzado estado salidas, etc.) se mostrará dicho estado en la pantalla de información al personal de conducción, una señalización y registro en el propio equipo.

Después del cierre de las puertas y al ponerse en movimiento el tren, se comenzará a contar la distancia.

El Adjudicatario, en fase de Proyecto, deberá justificar la seguridad del soporte de registro de datos grabados frente condiciones que pudieran afectar a la integridad de los mismos (choque, aplastamiento, vibraciones, temperatura, agua, campos electromagnéticos, etc.), así como el cumplimiento de las normas ferroviarias aplicables a cajas negras: CEI 60571, CEI 61373, CEI 61375, UNE EN 50121.

La Central de Registro (Caja Negra) deberá cumplir con la norma EN/IEC 62625-1:2013+A11:2017, o norma equivalente aplicable al registrador de eventos ferroviario ofertado, debiendo el Adjudicatario justificar en fase de proyecto la clase de prestaciones de registro, el nivel de protección del medio de almacenamiento, los requisitos funcionales implementados, la integridad y coherencia de los datos registrados y extraídos, la protección frente a manipulación o pérdida de datos, y el registro de fecha y hora asociado a los eventos. La solución propuesta quedará sometida a aprobación de FMB en fase de proyecto.

Como referencia de diseño se considerará la clase de prestaciones de registro R1 y el nivel de protección del medio de almacenamiento A, o prestaciones equivalentes justificadas por el

Adjudicatario y aceptadas por FMB en función de la arquitectura, criticidad de las señales registradas.

Las funciones de seguridad implementadas en la Central de Registro deberán alcanzar, como mínimo, el nivel SIL que resulte del análisis de riesgos correspondiente, no siendo inferior a SIL 2 cuando su fallo pueda impedir, degradar o falsear una función de seguridad del tren. El cumplimiento deberá demostrarse conforme a las normas CENELEC ferroviarias aplicables, incluyendo EN 50126, EN 50128/EN 50657 y EN 50129, o normas equivalentes aplicables.

La Central de Registro deberá incorporar funciones seguras de ayuda a la conducción y tratamiento seguro de señales relacionadas con la seguridad ferroviaria, incluyendo como mínimo las funciones de cálculo y supervisión segura de velocidad, velocidad cero, sobrevelocidad, cálculo de distancia recorrida y gestión/generación de las señales de 45 m y 100 m utilizadas por los sistemas del tren.

El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto la documentación justificativa correspondiente, incluyendo certificados, safety manual, alcance exacto de la certificación SIL2, versiones hardware/software cubiertas, funciones incluidas y restricciones de aplicación.

2.3.4.7 Detección de incendios

El tren estará dotado de un sistema de detección de incendios tipo failsafe, que incluirá sensores ópticos de humo distribuidos en el interior de cada coche, detectores de humo exterior y detectores de fuego en los compartimentos, armarios o cofres técnicos, sellados o no, que contengan la línea de alimentación eléctrica o equipos del circuito de tracción, incluidos los equipos situados bajo bastidor. El sistema contará con dos centrales por tren que operarán de forma redundante, garantizando su disponibilidad en caso de fallo.

El número, tipo y ubicación de los detectores de incendio deberá definirse en fase de proyecto mediante un estudio de cobertura elaborado por el Adjudicatario, considerando la geometría del vehículo, pasillos, compartimentación, ventilación, flujos de aire, ubicación de posibles focos de incendio, características de los equipos protegidos y prestaciones específicas de los detectores propuestos. En cualquier caso, el número de detectores nunca será menor a 4 detectores.

El estudio deberá justificar que las zonas protegidas disponen de cobertura suficiente para permitir la detección temprana del incendio en los escenarios representativos definidos para el tren. La propuesta deberá incluir la documentación técnica de los detectores, criterios de posicionamiento, zonas cubiertas, posibles zonas de sombra, tiempos de detección esperados y ensayos o verificaciones funcionales previstos.

La solución definitiva de número, tipo y ubicación de sensores deberá ser validada por FMB en fase de proyecto, conforme a EN 45545-5 y, cuando resulte aplicable, tomando como referencia metodologías reconocidas de validación funcional de sistemas de detección de incendios en material rodante.

El sistema deberá ser capaz de detectar humo procedente tanto del interior como del exterior del tren, y deberá identificar con precisión el origen del foco (interno o externo) e informar de ello al sistema informático del tren. El sistema de detección de incendios deberá estar diseñado con un grado de redundancia suficiente para que el fallo simple de un sensor no deje sin vigilancia las zonas críticas definidas en el estudio de cobertura ni impida la detección de una condición de incendio en el tren.

Los sensores ópticos de humo deberán disponer de un sistema de autodiagnóstico capaz de detectar acumulación de suciedad o deterioro del rendimiento óptico. En tal caso, el sistema deberá emitir una prealarma de mantenimiento preventivo, informando de la necesidad de limpieza o revisión del sensor.

Esta prealarma no deberá afectar la capacidad funcional del sensor ni suprimir su capacidad de detección durante el tiempo en que se encuentra en dicho estado. La detección de humo deberá mantenerse operativa en todo momento mientras no se alcance el umbral de fallo crítico del sensor.

El sistema deberá reportar esta prealarma al sistema informático del tren, registrándola adecuadamente para planificación de mantenimiento. La gestión de esta condición deberá ser demostrada durante las pruebas funcionales del sistema.

Asimismo, el Adjudicatario propondrá, para su validación por FMB, la funcionalidad y las acciones automáticas o manuales que deberá ejecutar el tren en caso de detección de incendio, tanto si se encuentra en conducción manual como en modo automático sin personal de conducción. Estas acciones podrán incluir, entre otras, el control de trampillas de aire exterior, funcionamiento del sistema de climatización y ventilación de emergencia, activación y grabación del sistema de videovigilancia, y comportamiento de los sistemas de comunicación.

En caso de conducción manual, se deberá mostrar un aviso claro en la pantalla de monitorización, identificando el coche y sensor que ha originado la alarma.

El sistema no deberá requerir reajustes de calibración a lo largo del tiempo por deriva de los sensores. Ante el fallo de un sensor, este deberá informar automáticamente al sistema informático del tren y podrá ser anulado sin afectar a la operatividad global del sistema.

La detección de incendio en los cofres bajo bastidor no deberá implicar la inmovilización automática del tren, permitiéndose la circulación hasta la estación más próxima para la evacuación segura del pasaje, salvo que existan riesgos inmediatos para la seguridad o indicaciones explícitas del sistema de control.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá demostrar la fiabilidad del sistema para evitar falsas alarmas, así como detallar las medidas dispuestas para evitar la propagación del fuego en caso de producirse.

2.3.5 Retornos de corriente

El tren deberá incluir las conexiones de retorno de energía al carril necesarias para garantizar la correcta circulación de la corriente de retorno hacia la fuente de suministro. El sistema de descarga a carril deberá asegurar que dicha corriente retorne sin producir riesgos de choque eléctrico ni daños a los equipos o elementos estructurales, de conformidad con lo establecido en la norma EN 50153.

Tal y como establece esta norma, queda expresamente prohibido utilizar los cojinetes de los ejes como parte del camino de retorno de corriente, debiendo implementarse sistemas de retorno específicos que aseguren continuidad eléctrica controlada y segura.

El diseño deberá cumplir además con las recomendaciones técnicas de la ficha UIC 610-0.17 (o su versión actualizada), y con los principios aplicables de la norma EN 50122-1, en lo relativo a la seguridad eléctrica del circuito de retorno desde el punto de vista del vehículo.

2.4 CABINA DE CONDUCCIÓN (C)

El pupitre de conducción contendrá todos aquellos aparatos, manipuladores, pulsadores, etc... necesarios para la conducción. También se incluirá el resto de los aparatos e informaciones que serán fácilmente identificables y accesibles desde su asiento.

El Adjudicatario en fase de proyecto debe entregar a FMB un estudio de ergonomía sobre la cabina de conducción, los elementos de conducción (pulsadores, asiento, visibilidad, ...) y acceso (puertas, escaleras, ...), realizado por un tercero independiente y de contrastada reputación en esta disciplina, presentando credenciales y referencias para su validación por FMB. Dicho estudio deberá justificar que el diseño de la cabina y pupitre propuesto por el Adjudicatario cumple con la normativa UIC correspondiente y los requerimientos especificados en este pliego.

Como base de diseño del pupitre se empleará la siguiente distribución de elementos:



Distribución orientativa conceptual del pupitre de conducción

NOTA: La imagen es una referencia conceptual no vinculante. La solución definitiva será propuesta por el Adjudicatario y validada por FMB en fase de proyecto, sin que deba reproducirse literalmente la distribución representada.

En cada puesto de conducción se dispondrá de un esfuercímetro con escala positiva y negativa que mostrará, en la escala positiva, la suma del par motor desarrollado por todos los equipos de tracción del tren cuando está traccionando; y en la escala negativa, la suma del esfuerzo de freno eléctrico y de freno neumático desarrollado por todos los coches.

En cada puesto de conducción se dispondrá de un amperímetro de línea con escala positiva y negativa que mostrará, en la escala positiva, la corriente absorbida de catenaria por la unidad y en la escala negativa, la corriente total devuelta por la unidad hacia la catenaria durante el freno regenerativo.

En los puestos de conducción existirá un amperímetro de doble escala para indicar la corriente de batería y un voltímetro que señalice la tensión de esta.

El puesto de conducción dispondrá de indicación de freno aplicado/liberado, además del esfuerzo de frenado indicado por el esfuercímetro.

En la cabina de conducción existirán dos pulsadores, (pulsador CON) y (pulsador DES), con los que respectivamente se podrá ordenar la conexión y desconexión en modo local manual del disyuntor de tracción, dichos pulsadores estarán fuera de la zona de alcance normal del personal a la conducción para evitar pulsaciones indebidas. En este caso el manipulador tracción-freno deberá estar situado en la posición de deriva.

Para poner en marcha el tren se dispondrá de un sistema de identificación de personal de conducción que deberá poder ser actualizable desde el CCM.

En el puesto de conducción, concretamente en la pantalla de monitorización, deberá existir señalización visual que informe sobre el estado del disyuntor.

En cada puesto de conducción se instalará un voltímetro para informar de la tensión presente en el circuito de alta tensión de la unidad de tracción. Las informaciones mostradas por el voltímetro no estarán condicionadas por el estado operativo del sistema informático. La caída total o parcial de dicho sistema no afectará al funcionamiento del voltímetro.

El punto de toma de la medición deberá estar situado antes del disyuntor de tracción o fusible de convertidor, con objeto de garantizar que el voltímetro de línea señalice siempre la tensión de entrada presente en el circuito de alta tensión de la unidad.

El puesto de conducción será diseñado de tal forma que, cumpliendo con todos los requerimientos de este pliego, se pueda realizar la evacuación del pasaje por la puerta frontal de cabina.

El Adjudicatario en fase de proyecto, suministrará los planos debidamente acotados del puesto de conducción, indicando en su proposición los elementos que incluye, así como las soluciones adoptadas para las puertas de acceso desde exterior y pasaje y el cumplimiento de requerimiento solicitados.

El puesto de conducción se diseñará cumpliendo los requerimientos de ergonomía que recoge la norma UIC 651.

El mando de tracción y freno del tren en puestos de conducción se realizará a través de los siguientes elementos:

- Llave de gobierno con sistema de identificación de personal de conducción.
- Selector de marchas.
- Manipulador de marcha freno.

Los 3 elementos citados estarán enclavados mecánicamente (no será suficiente el enclavamiento eléctrico), de manera que para desplazar el selector de marchas a una posición distinta de cero sea necesario conectar la llave de gobierno. Para poder mover el manipulador rotativo de tracción-freno será necesario colocar el selector de marcha en una posición distinta de cero. El sistema será robusto y sin ajustes para evitar bloqueos del manipulador.

Tanto la llave de gobierno como el sistema de identificación de personal de conducción, deberá ser compatible con los actuales en FMB (tipo IKON ASSA ABLOY).

En el puesto de conducción se colocarán serigrafías identificativas de las distintas posiciones que pueden tomar los tres elementos citados. La serigrafía de todos los elementos de la cabina de conducción será unificada en tipo de letra y dimensiones y debe ser validada por FMB.

En la cabina de conducción se dispondrá de señalización clara, visible y permanente que permita identificar, como mínimo:

- la velocidad máxima del tren (V_{max}),
- el número de identificación del vehículo,
- la ubicación de los equipos portátiles de seguridad y emergencia,
- las salidas de emergencia.

Dicha señalización deberá ser fácilmente legible desde la posición normal de conducción y mantenerse visible en todas las condiciones de iluminación.

La señalización será duradera, no ambigua y coherente con el resto de la señalización del tren.

Las características del control de velocidad serán ergonómicas y deberán ser sometidas a la aprobación de FMB.

Los pulsadores de selección, autorización de apertura y cierre del lado izquierdo estarán situados en el puesto de conducción a la izquierda del personal de conducción y los del lado derecho a la derecha.

Los aparatos se distribuirán de tal forma que su accesibilidad sea fácil para la revisión y limpieza.

Se propondrán diversos materiales para la carcasa del pupitre, teniéndose en cuenta que debe ser inastillable, fácilmente lavable, no decolorándose con el uso, incombustible y resistente a la abrasión. Asimismo, el acabado de la superficie del pupitre no debe producir reflejos no deseados que dificulten la conducción del personal de conducción. Será modular y fácilmente desmontable del resto del conjunto para efectuar la revisión de los aparatos.

Los teclados, pantallas e instrumentos de medida tendrán protecciones antivandálicas.

Los teclados y accionamiento tendrán una resistencia óptima para el accionamiento con la mano.

Los pulsadores de bypass (freno, puertas, hombre-muerto, etc.) deberán estar en lugar accesible al personal de conducción.

Las pantallas de conducción serán táctiles y dispondrán, como criterio general, de botones físicos perimetrales o mandos físicos asociados que permitan accionar de forma redundante las funciones críticas representadas en pantalla.

Se considerarán funciones críticas, como mínimo, aquellas relacionadas con la conducción, modos degradados, puertas, freno, alarmas, comunicaciones operativas, seguridad del tren y retirada de la unidad en caso de incidencia.

En caso de que el Adjudicatario proponga una solución sin botones físicos perimetrales, deberá justificarlo expresamente en fase de proyecto mediante análisis funcional, ergonómico, RAMS y de seguridad, demostrando que la solución mantiene un nivel equivalente o superior de disponibilidad, seguridad, fiabilidad y operabilidad en condiciones normales y degradadas.

La justificación deberá contemplar, como mínimo, el fallo de la pantalla, fallo de la función táctil, bloqueo de la pantalla de conducción, pérdida parcial del sistema informático, pérdida de comunicaciones internas, uso con guantes, condiciones de baja visibilidad, vibraciones, accionamientos involuntarios y operación en situación degradada.

La aceptación de una solución sin botones físicos quedará sujeta a validación expresa por FMB.

La pantalla de conducción deberá estar redundada de tal manera que el fallo de una de ellas no afecte a la información necesaria para el personal de conducción y por lo tanto no afecte al servicio.

El diseño de las pantallas de conducción instaladas en cabina para el personal a la conducción, así como aquellas destinadas a funciones de mantenimiento o supervisión del sistema, deberá cumplir los siguientes requisitos funcionales y de validación:

- Las pantallas de conducción, diagnóstico, mantenimiento y supervisión deberán ser claramente legibles y de comprensión inmediata, priorizando la correcta percepción de la información crítica, la lógica de navegación y el uso adecuado de códigos de color y simbología.
- La codificación de colores, pictogramas, leyendas, bordes, botones, iconografía y estructuras gráficas será diseñada conforme a criterios de ergonomía, claridad visual y estandarización funcional, y deberá ser sometida obligatoriamente a la validación de FMB durante la fase de proyecto. No se admitirán como válidas soluciones derivadas de trenes anteriores sin aprobación explícita de FMB.

- El Adjudicatario deberá presentar a FMB, como parte de la ingeniería de detalle, una propuesta completa de todos los menús, pantallas, estructuras jerárquicas, navegación y estilo visual de la pantalla de ayuda a la conducción. Esta propuesta incluirá:
 - Muestras funcionales navegables.
 - Justificación técnica de la codificación de colores empleada.
 - Esquema de navegación y estructuras jerárquicas.
 - Pruebas de validación de contraste y legibilidad.

En caso de discrepancia sobre el diseño visual o funcional de las pantallas, la decisión técnica de FMB será vinculante. El Adjudicatario deberá implementar los cambios requeridos sin coste para FMB.

Las pantallas deberán garantizar su correcta visualización bajo todas las condiciones de iluminación esperadas en la cabina de conducción y en condiciones de vibración, temperatura y EMI conforme a EN 50155 y EN 50121-3-2.

Las pantallas del puesto de conducción dispondrán, como mínimo, de las mismas características de direccionalidad respecto al ángulo de observación de la pantalla que permita un correcto visionado de los mensajes e imágenes, desde cualquier posición localizada en los alrededores del puesto de conducción. Será robusta, táctil, con protección antivandálica frente a golpes y erosiones.

La pantalla de monitorización tendrá control automático de brillo y contraste, de modo que ajustará ambos en función del nivel de luminosidad existente en la zona de conducción, con objeto de no deslumbrar al personal de conducción y garantizar su correcta visibilidad. A tal efecto, se incorporará un sensor para medición del nivel de luminosidad en cabina que no tenga retardo en la respuesta frente a cambios bruscos de iluminación (transiciones túnel-exterior, túnel-estaciones y viceversa). Dentro de la regulación automática de brillo y contraste se podrán elegir 3 rangos de trabajo de intensidad (brillo y contraste) a elección del personal de conducción.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá adjuntar especificaciones técnicas de la pantalla utilizada destacando: vida útil prevista del monitor, fiabilidad, resistencia antivandálica, robustez para aplicación ferroviaria, etc. LCC, garantía, mantenimiento.

El Adjudicatario deberá proporcionar las especificaciones técnicas completas de todas las pantallas de visualización integradas en el tren (cabina, pasaje, mantenimiento, etc.), de acuerdo con los principios ergonómicos establecidos en el Real Decreto 1215/1997. Estas

especificaciones deberán incluir, como mínimo:

- Tipo de pantalla y tecnología utilizada.
- Nivel de luminancia y contraste.
- Brillo ajustable y rango disponible.
- Dimensiones de visualización.
- Tamaño mínimo de fuente de texto, que no deberá ser inferior a 0,4 mm de altura por milímetro de distancia de visualización.
- Visibilidad adecuada desde los ángulos de operación previstos.

Asimismo, se deberá garantizar que las pantallas permiten una lectura cómoda, sin reflejos, adaptadas a condiciones de luz variables y adecuadas para turnos prolongados de trabajo.

El puesto de conducción incorporará doble pantalla que facilitará el control de la seguridad del pasaje por el personal de conducción. En estas pantallas se podrá visualizar:

a) El pasaje en el interior de los coches:

En el interior de los coches se dispondrán de unas cámaras de CCTV que permitan controlar completamente el pasaje del tren, sin ángulos muertos de cobertura interna.

b) Las cámaras retrovisoras:

Se podrá activar de forma manual o automática mediante selección en la pantalla de ayuda a la conducción.

En cada lateral del tren se dispondrá de una cámara en cada cabina de conducción y dos cámaras en los remolques, existiendo un total de 8 cámaras retrovisoras por tren, evitando así puntos ciegos en los andenes en curva. La visión de los andenes servirá para poder supervisar la entrada y salida del pasaje del tren y poder reanudar la marcha una vez ha podido comprobar que ha terminado el movimiento de las personas. Se debe garantizar que no tendrá lugar condensación en las cámaras.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá aportar un estudio de optimización de campo de visión y deberá demostrar que no existen zonas muertas sin cubrir por las cámaras. La calidad de imagen que ofrezcan las cámaras deberá

ser adecuada y suficientemente detallada tanto en resolución, nitidez y luz para detectar cualquier detalle que pueda ser relevante para la conducción y seguridad.

Como complemento a las cámaras retrovisoras, cada cabina deberá equipar un cámara frontal justo debajo del parabrisas que permita grabar posibles obstáculos o arrollamientos, así como permitir visualizar las operaciones de acople y desacople y función de marcha atrás.

FMB deberá validar en fase de proyecto la disposición, calidad de imagen y visualización de las cámaras.

El sistema de cámaras retrovisoras del tren deberá adaptarse automáticamente al tipo de andén presente en cada estación, garantizando en todo momento una visualización clara desde cabina para supervisar de forma segura el embarque y desembarque de viajeros.

Se establecen los siguientes modos de funcionamiento:

a) Estaciones con un solo andén lateral

En el monitor correspondiente al lado del andén, se visualizarán las cámaras situadas en cabeza y cola del tren.

En el monitor del lado contrario, se visualizarán las cámaras centrales.

b) Estaciones con andén central y lateral

La retrovisión inicial se establecerá sobre el andén central.

En el monitor del lado del andén central se visualizarán las cámaras de cabeza y cola.

En el monitor del lado contrario se visualizarán las cámaras centrales.

Una vez completado el cierre de puertas del andén central, el sistema conmutará automáticamente la retrovisión al andén lateral:

En el monitor del lado del andén lateral se visualizarán las cámaras de cabeza y cola.

En el monitor contrario, las cámaras centrales.

c) Requisito adicional para estaciones con andén doble (central + lateral)

Durante el arranque desde estaciones con andén doble, el sistema deberá priorizar en ambos lados de cabina el enfoque de las cámaras extremas (cabeza y cola) correspondientes a su lado, al menos durante los primeros 100 metros de recorrido tras la salida de la estación.

El personal de conducción deberá quedar centrado con el pupitre respecto a las pantallas de información a la conducción, y se maximizará el ángulo de visibilidad, cumpliendo en todo momento lo indicado en la norma UIC 651.

Los equipos y dispositivos del pupitre se encontrarán ubicados dentro del área de alcance máximo (550 mm-650 mm desde el hombro).

Existirá en cabina un sistema de detección y aviso capaz de informar a la cabina activa a través de la pantalla de control de tren y de una alarma sonora y puntual que la cabina no activa se encuentra ocupada por personas.

La cabina de conducción incorporará los siguientes elementos: limpiaparabrisas, antivaho y parasol (con accionamiento eléctrico) únicamente para los trenes que vayan a circular por L1 o L2.

Bajo el pupitre se dispondrá de un calefactor de aire caliente con difusores orientables y lo más cercano a la posición de los pies del personal de conducción, siendo compatible con el reposapiés. El calefactor solamente se debe poder activar en la cabina habilitada.

2.4.1 Acceso al puesto de conducción

Para el acceso al puesto de conducción, se debe dotar de una puerta a cada lado del vehículo que permita el acceso directo desde el exterior a la cabina de conducción y de una puerta que permita comunicación desde cabina a sala de pasaje.

Las puertas de acceso exterior a cabina de conducción serán del tipo corredera deslizante de accionamiento manual.

La apertura manual de las puertas deberá poder realizarse con una sola mano y sin necesidad de posturas forzadas o esfuerzos excesivos. A tal efecto, se garantizará que con una mano:

- La fuerza inicial de accionamiento para iniciar la apertura no supere los 150 N.
- La fuerza de mantenimiento para completar la apertura no exceda los 70 N.

Tanto la maniobra de apertura como de cierre estarán exentas de brusquedades, ruidos y estarán amortiguados en el final de su movimiento y no interferirá con el resto de las puertas o elementos del tren.

El paso de las puertas de acceso lateral a la cabina de conducción desde el exterior, con la hoja en posición abierta, no será en ninguna circunstancia inferior a 625 mm de anchura libre, y de igual altura que las puertas de pasaje.

Se cuidará especialmente la estanqueidad general de la cabina y se tomarán las medidas necesarias para que las puertas hermeticen completamente la cabina.

El acceso al tren, desde la vía, se realizará mediante escalera fija a ambos lados del tren integrada en la estructura del tren de forma vertical. Cumplirá con los requisitos establecidos en la UNE-EN ISO 14122-4:2017 “Seguridad en las máquinas medios de acceso permanente a maquinas e instalaciones industriales (Escalas fijas)”:

- Dispondrán de dos montantes laterales. La separación entre los dos montantes estará comprendida entre 400 mm y 600 mm.
- La escalera estará dotada de peldaños sucesivos con una anchura mínima de 300 mm y espacio suficiente tras el escalón para introducir completamente el pie.
- Dispondrán en su pisadera de un material que permita la buena adhesión del calzado.
- Los peldaños de la escalera de acceso a cabina deberán carecer de bordes cortantes o aristas vivas.
- La separación entre los peldaños sucesivos debe ser constante y estará comprendida entre 225 mm y 300 mm.
- La distancia de separación entre la superficie de salida (plano del patín de la vía) y el primer peldaño no debe sobrepasar los 400 mm.
- El diseño del acceso a cabina desde ambos lados del tren deberá garantizar la accesibilidad desde una cota situada a 200 mm por debajo de la cabeza del carril.
- El peldaño superior debe estar colocado al mismo nivel que la plataforma de llegada.
- Estará dotada de asideros o barandillas a ambos lados.
- La altura mínima de los pasamanos será de 1 m y el espacio libre de prensión en su entorno no será inferior a 60 mm.

- No existirá en todo el recorrido del pasamanos ningún obstáculo ni soporte que pueda entorpecer el deslizamiento de las manos a lo largo de los pasamanos.
- La resistencia a la resbalabilidad para el suelo será clase 3.
- El diámetro del pasamanos estará comprendido entre 38 y 50 mm.

La separación entre cabina de conducción y pasaje debe ser a partir de un tabique estanco y opaco, para impedir la visibilidad desde la sala de pasaje y el paso de posibles sustancias que puedan encontrarse en la zona de pasaje (polvo, disparo de extintores, etc.).

La puerta de acceso a cabina desde sala pasaje deberá estar ubicada a la izquierda del tabique de cabina alineada con la puerta frontal de evacuación y con la maneta de apertura estará en posición vertical y enrasada con la superficie de la puerta con una profundidad mínima de 3 cm.

Esta puerta de acceso a cabina desde pasaje dispondrá de un marco estanco sin dintel o escalón inferior y se abrirá únicamente hacia el interior de la cabina. La puerta de cabina pasaje a cabina conducción dispondrá de una mirilla.

Desde el interior de cabina, todas las puertas, tanto las laterales como la ubicada en tabique de separación con la sala de pasaje, se podrán abrir siempre sin necesidad de llave ni de tarjeta u otro elemento de identificación, independientemente de si el sistema de control de acceso está operativo o anulado.

Se debe disponer de una iluminación mínima de 50 lux (a la altura del suelo) que se active en caso de emergencia para facilitar la evacuación del personal.

La iluminación interior de la cabina del personal de conducción cumplirá la norma UNE EN 13272.

El diseño del sistema de control de accesos será lo más pequeño y discreto posible e integrado tanto en el testero como en el tabique de separación con la sala de pasajeros, con el objetivo de evitar en la medida de lo posible su vandalización.

Su accionamiento se podrá realizar independientemente del estado del tren para garantizar siempre la apertura y cierre. Se instalarán dos accionamientos a dos alturas, de tal forma que sean fácilmente accesibles tanto a nivel de vía, como a nivel de andén o piso del tren, con apertura y cierre individualizados del resto de puertas y de forma tal que no suponga realizar movimientos por encima del hombro.

A continuación, se relacionan a modo ilustrativo algunos de los requerimientos que deberán cumplir los accesos, sin que ello signifique que no se deban cumplir la totalidad de requerimientos

y recomendaciones que contempla las normas UIC 651, Real Decreto 485/1997 u otras normas de referencia, independientemente de si se encuentran o no en esta relación:

- Las cabinas en los extremos deben tener al menos una salida que permita un acceso sencillo del personal al pasillo que conduzca al extremo opuesto del tren.
- Esta puerta debe ser fija (no abrirse sola) pero el mecanismo de apertura ha de ser fácil y rápida de usar.
- La salida debe ser fácilmente accesible tanto para el personal de conducción como para el acompañante.
- La cabina debe ser accesible desde ambos lados desde el exterior, ya sea directamente en la cabina del personal de conducción o en un compartimento adyacente.
- La distancia mínima de la ruta que debe garantizar que el personal de conducción pueda salir de la cabina de forma segura y sin dificultad será de 2.000 mm.
- La altura mínima de la puerta de cabina será 1.900 mm.
- La anchura libre mínima de la puerta de cabina será de 625 mm.
- Los escalones de acceso a la puerta lateral deben quedar en el mismo plano vertical y equidistantes entre sí. Deben ser antideslizantes.
- Con el fin de garantizar la seguridad del personal y mejorar la visibilidad de los límites de acceso, se deberá señalizar mediante una franja claramente visible, continua y de un ancho mínimo de 30 mm, similar a la utilizada en los estribos de acceso al tren.
- La distancia máxima entre escalones será de 300 mm.
- La anchura mínima de los escalones será 300 mm y serán todos ellos iguales.
- La profundidad recomendada de los escalones es de 150 mm.
- Es obligatoria la presencia de una agarradera a ambos lados de las puertas y los escalones que permitan el acceso a la cabina del personal de conducción. Su longitud mínima será de 1.000 mm.
- Las agarraderas deben ser redondeados y sin cantos vivos. Deben estar fijados a la cabina únicamente en sus extremos.

- La distancia máxima entre el extremo inferior y el superior de la agarradera será de 1.200 mm.
- La distancia mínima entre el extremo superior de la agarradera y el suelo de cabina será de 1.200 mm.
- El espacio libre entre la agarradera y la superficie de la cabina será como mínimo de 50 mm.
- Si la maneta de apertura de las puertas exteriores no es accesible desde el nivel de vía, una maneta extra debe incluirse en la parte inferior de la puerta.
- Las manetas deben ser redondeadas y sin cantos vivos.
- La posición del eje rotacional de la maneta será como mínimo de 80 mm desde el extremo inferior de la puerta, y de 50 mm desde el lateral.
- La longitud mínima de las manetas será de 120 mm.

2.4.2 Sistema de control de accesos a cabina (CAT)

Las puertas de acceso al puesto de conducción (interior a caja pasaje y al exterior del vehículo), dispondrán de accionamientos debidamente protegidos y poco visibles para el pasaje, pudiéndose integrar en el entorno del marco de la puerta o en la propia estructura del vehículo.

Tanto en puerta cabina-pasaje como cabina exterior el sistema contemplará la posibilidad de que se haya activado el sistema de control de accesos, pero finalmente no se abra la puerta, en este caso, y pasado un tiempo la puerta debe quedar bloqueada nuevamente evitando que esta quede con la posibilidad de abrirse indefinidamente.

El sistema permitirá la apertura de las puertas (tanto puerta de acceso lateral como puerta de pasaje-cabina) en remoto y enviará la confirmación del estado de estas (abierta, cerrada, lector o cerradura en fallo,). El sistema registrará el históricos de accesos de cada puerta, con la fecha y hora, número de tarjeta que solicita el acceso.

El acceso tanto a las cabinas de conducción como a los mandos del tren para la puesta en marcha estará dotado de un sistema de control de accesos. El control de acceso para la cabina estará instalado en la puerta de acceso que segregue la cabina de conducción de la zona de pasaje y en las puertas laterales de acceso a cabina. En las puertas laterales de cabina, para acceso del personal de conducción, el sistema de control de accesos deberá estar instalado

doblemente y a dos alturas, de tal manera que se pueda acceder a él desde la zona de vías y desde anden de forma ergonómica.

Dicho control de accesos será con un sistema del tipo sin contacto y deberá leer las tarjetas existentes del personal de FMB. Las tarjetas serán DESFIRE EV3. Deberá ser programable y actualizable desde el CCM. La tarjeta utilizada para acceder al tren se deberá registrar en el sistema informático del tren y en el registrador de eventos.

Deberá ser programable y actualizable desde el CCM mediante el canal de comunicaciones.

Así mismo, es necesario disponer de una opción que permita anular el sistema de control de acceso de forma que no se vea afectada la operativa del tren. Dicha anulación deberá registrarse en el registrador de eventos del tren. Así mismo, en caso de producirse la anulación deberá enviarse dicha información al CCM a través del canal de comunicación que determine FMB en fase de proyectos.

En caso de que el sistema no funcione adecuadamente, o se detecten fallos de funcionamiento del mismo no previstos o aceptables por parte de Operación, se tendrá la opción de dejar el sistema inactivo en caso de que así se decida, mientras se soluciona el problema, se modifica o se desinstala.

En caso de desconexión o by-pass del sistema, la puerta de cabina pasaje a cabina conducción quedaría con la cerradura securizada abierta y para acceder a la cabina sólo habría que abrir la cerradura de golpe con llave securizada.

	ACCESO MEDIANTE TARJETA EN FUNCIONAMIENTO NORMAL	ACCESO MEDIANTE TARJETA EN BY-PASS, ANULADO O DESCONECTADO
PUERTAS LATERALES	ACCESO SOLAMENTE PASANDO LA TARJETA	ACCESO CON LLAVE SECURIZADA
PUERTA TABIQUE CABINA A SALA PASAJE	ACCESO SOLAMENTE PASANDO LA TARJETA	ACCESO CON LLAVE SECURIZADA

La puerta de cabina pasaje deberá tener una cerradura securizada electromecánica que cierre con golpe, y evite que en cualquier circunstancia o situación la puerta quede abierta. El sistema

de apertura de esta puerta se debe abrir con tarjeta sin contacto. en caso de que el sistema no funcionara se abriría con la llave securizada.

Desde el interior de cabina se podrá abrir siempre sin necesidad de llave ni de tarjeta u otro elemento de identificación, independientemente de si el sistema de control de acceso está operativo o anulado.

A continuación, se detallan los componentes y arquitectura que debe tener el sistema para su compatibilidad con los actualmente existentes en FMB:

- **Lectores RFID:** Los trenes estarán equipados con lectores RFID sin contacto estratégicamente ubicado en la puerta del tabique que separa la cabina de la sala de pasajeros y las proximidades de las puertas laterales de acceso a cabina desde el exterior.
- **Electrónica de Control de Acceso Embarcada:** esta unidad se integra en la red del tren y gestiona los lectores RFID. Sus funciones incluyen:
 - Procesar las solicitudes de acceso y habilitación de cabina.
 - Registrar eventos, incluyendo la fecha, hora, ID de la tarjeta, ID del lector y el estado de las puertas.
 - Comunicarse con el equipo y software de control de acceso embarcado.
 - Almacenar localmente la última lista blanca de IDs de tarjetas autorizadas.
 - Sincronizar la fecha y hora con la referencia de tiempo proporcionada por el sistema informático del tren.
- **Nodo de Comunicaciones (CPU multipropósito):** el sistema contará con dos módems 4G/WiFi instalados. Estos nodos operarán en modo redundante activo-pasivo, donde solo uno gestiona la comunicación tren-tierra.

El nodo de comunicaciones exclusivamente proporciona las comunicaciones tren-tierra.

- **Equipo y software control de acceso embarcado:** El control de acceso requiere disponer de un equipo y software encargado de su gestión.

Las funciones que debe realizar serán:

- Almacenar y distribuir a la electrónica de control de acceso, la lista blanca de IDs de tarjetas autorizadas junto a su permiso.
 - Consultar a la API / Broker si hay cambios en la lista blanca, si lo hay la descarga y envía a la electrónica de control de acceso.
 - Consultar a la API / Broker TMB si hay órdenes remotas para procesar, como por ejemplo apertura de puertas, y enviarla a la electrónica de control de acceso.
 - Enviar información de estado del sistema a la API / Broker TMB.
- **Plataforma centralizada:** Actualmente FMB dispone de una plataforma centralizada, ubicada en tierra, que gestiona el sistema de control de accesos. Sus principales funciones son:
 - Almacenar y administrar la lista blanca de usuarios autorizados, con diferentes niveles de acceso:
 - Nivel 1: Solo acceso a cabina.
 - Nivel 2: Acceso a cabina y habilitación cabina.
 - Nivel 3: Acceso a cabina, habilitación cabina y acceso a pantalla mantenimiento tren, configurar los permisos de acceso y habilitación de cabina para cada usuario.
 - Supervisar el estado del sistema de control de accesos en tiempo real.
 - Emitir órdenes remotas al tren, como la apertura de puertas y la actualización de la lista blanca.
 - Recibir y almacenar los eventos de acceso y habilitación transmitidos por el nodo de comunicaciones.
 - Proporcionar una interfaz de usuario para la gestión del sistema.
 - **Red Embarcada:** Estas redes interconectan los diferentes componentes del sistema a bordo del tren, incluyendo:
 - Nodo de comunicaciones.

- Electrónica de control de accesos.
- Caja negra (EVR - Event Recorder).
- Dos routers NetBox (en los coches Ma1 y Ma2).

El flujo de funcionamiento normal del sistema de acceso a cabina será el siguiente:

- Acceso a la Cabina: El usuario acerca su tarjeta MIFARE a un lector RFID.
- El lector transmite la información de la tarjeta a la electrónica de control de accesos.
- La electrónica verifica si el ID de la tarjeta se encuentra en la lista blanca almacenada localmente.
- Si la tarjeta está autorizada, se desbloquea la puerta correspondiente.
- Se registra el evento de acceso, incluyendo la fecha, hora, ID de la tarjeta, ID del lector y el estado de la puerta.
- **Comunicación con Servidor central y Actualización de la Lista Blanca:**
Cuando se conectan las baterías del tren ("preparación" del tren), el nodo de comunicaciones se activa y proporciona comunicaciones con el exterior. El control de acceso debe:
 - Consulta a la API / Broker TMB, por medio de unas credenciales definidas, si tiene la última versión de la lista blanca para ese tren.
 - Si la lista blanca es diferente a la que ya tiene, el control de acceso la descarga y la almacena localmente.
 - El control de acceso envía la nueva lista blanca a la electrónica de control de accesos a través del servidor FTP interno.
 - Informa al sistema informático del tren sobre la disponibilidad de una nueva lista blanca, y el sistema informático del tren a su vez notifica a la electrónica de control de accesos.

- **Registro y Transmisión de Eventos:** La electrónica de control de accesos registra todos los eventos de acceso y habilitación de cabina, incluyendo la información detallada del evento.
 - Si el tren está preparado (conectado a la red informática del tren), los eventos se envían al registrador de eventos (caja negra) en tiempo real a través del sistema informático del tren.
 - Si el tren está despreparado, los eventos se almacenan en un buffer local de la electrónica de control de accesos.
 - Una vez que el tren se conecta a la red informática del tren, los eventos almacenados se envían al registrador de eventos (caja negra).
 - El servidor central puede solicitar los eventos registrados en el registrador de eventos (caja negra).
 - El registrador de eventos (caja negra) envía los eventos al nodo de comunicaciones a través del sistema informático del tren.
 - El nodo de comunicaciones transmite los eventos al servidor central.
- **Gestión Remota desde el Servidor Central:** El servidor central permite la gestión remota del sistema de control de accesos, incluyendo:
 - **Apertura Remota de Puertas:** Para desbloquear cualquier puerta del sistema, por ejemplo, si un usuario tiene problemas con su tarjeta. El control de accesos preguntará a la API / Broker TMB si hay alguna orden para él.
 - **Actualización Remota de la Lista Blanca:** El servidor central puede generar una nueva lista blanca para trenes, la cual subirá a la API / Broker TMB y el control de acceso será el encargado de consultar si hay modificaciones, si las hay, se la descargará y actualizará el sistema de control de acceso.
 - **Consulta de Estado:** El servidor central podrá consultar vía API / Broker TMB información sobre el estado del sistema, para ello, el control de acceso deberá reportarlo a la API / Broker TMB.

El sistema funciona en los siguientes modos degradados:

- **Fallo de Comunicación con el servidor central:** Si el tren pierde la conexión con servidor central, el sistema de control de accesos utiliza la última lista blanca almacenada localmente en su sistema. Los usuarios con tarjetas autorizadas en esa lista podrán acceder a la cabina, pero no se podrán actualizar las autorizaciones ni recibir órdenes remotas.
- **Fallo de la Electrónica de Control de Accesos:** Si la electrónica falla, se puede acceder a la cabina utilizando una llave física tipo Lince a través de las puertas del tabique. Los lectores RFID y la lista blanca no se utilizan en este caso.
- **Bypass de Habilitación:** En caso de fallo, se puede habilitar la cabina mediante un bypass, sin necesidad de utilizar la tarjeta RFID.

2.4.3 Elementos de la cabina y del puesto de conducción

Entre los elementos a introducir en el puesto de conducción deberán figurar, lista no exhaustiva:

- Llave de gobierno con sistema de puesta en marcha del tren con identificador de personal de conducción.
- Selector de marchas.
- Manipulador de tracción/freno tipo palanca de accionamiento angular/rotativa.
- Panel de conducción ATP-ATO, incluyendo el velocímetro.
- Velocímetro (deberá estar todo lo centrado posible, dentro del campo visual de conducción e independiente al sistema informático del tren, ATC o cualquier otro sistema informático embarcado).
- Esfuerómetro.
- Manómetro de tubería principal y cilindros de freno.
- Pulsadores de selección, autorización de apertura, apertura/cierre de puertas, bypass y aviso acústico de cierre de puertas.
- Seta roja de emergencia.
- Pulsador de reconocimiento del tirador de alarma.
- Pulsador de reconocimiento de Tren-Stop deslocalizado.

- Pulsador alumbrado cabina.
- Pulsador de faros.
- Panel de mando de la Megafonía y micrófono.
- Panel de mando de Radioteléfono, incluyendo selector de canales.
- Pulsador bypass del freno de retención dedicado.
- Pulsadores CON y DES del freno estacionamiento.
- Pulsadores CON y DES del disyuntor.
- Pantalla de Monitorización.
- Panel de control de monitores de vídeo vigilancia.
- Piloto luminoso señalización PMR.
- Pulsador CON y DES de batería.
- Pulsador subir y bajar pantógrafo.
- Pulsador apertura general de puertas.
- Elementos susceptibles de ser necesarios para la conducción automática y manual.

El Adjudicatario, en fase de Ingeniería de Proyecto, indicará las características (tamaño, calidad, resolución, ...) de los monitores dedicados para la función retrovisor y video vigilancia. Deberán someterse a la aprobación de FMB.

En fase de proyecto se definirán que elementos del pupitre y de la cabina de conducción (ej. Puesta a tierra) deben disponer de una tapa de protección para evitar actuaciones indebidas o involuntarias sobre dichos elementos. Los elementos que deberán disponer de protección deberán ser validados por FMB durante la fase de proyecto.

La identificación de los mandos, pulsadores, selectores, testigos, indicadores y demás elementos del puesto de conducción se realizará mediante pictogramas armonizados, normalizados y no ambiguos, coherentes entre sí y con el resto de la señalización del tren. Su diseño, ubicación, tamaño, contraste y legibilidad deberán permitir su reconocimiento inmediato desde la posición normal de conducción. Toda serigrafía y/o pictogramas deberán ser validados por FMB en fase de proyecto.

La colocación de los dedos en los pulsadores de selección y apertura de puertas será lo más paralela al suelo posible. La posición de los dedos y muñeca será neutra sin dobleces de dedos (falanges).

La fuerza a ejercer con los dedos sobre los botones se establece en 10N (en ninguna circunstancia será superior a los 12 N). El Adjudicatario deberá presentar un informe justificativo del cumplimiento de dicho requerimiento en fase de proyecto. Se deberá demostrar el cumplimiento de dicho requerimiento en el primer tren fabricado.

Todos aquellos elementos que suministren información irán agrupados con el fin de evitar la dispersión, estando situados en lugares fácilmente visibles por el personal de conducción, pero deberán quedar ocultos al pasaje en el caso de conducción automática sin personal de conducción.

Los mandos más utilizados se situarán de manera lo más vertical posible y cercanos al personal de conducción:

- o Los mandos de puertas (parte más inferior).
- o Mandos de arranque de ATO: centrados y encima de los mandos de puertas.

Todos los pulsadores deberán disponer de sus correspondientes señalizaciones luminosas cuando estén activos y esta serán a base de leds y se dispondrá de un pulsador de prueba de lámparas que al accionarlo iluminará todas las señalizaciones.

La intensidad del brillo de los pulsadores de señalización será regulable por el personal de conducción, hasta un mínimo que permita su visualización.

Los pulsadores de bypass (freno, puertas, hombre muerto, etc.) deberán estar precintados y en lugar accesible al personal de conducción, pero distribuidos de tal manera que evite una actuación involuntaria por parte del personal de conducción.

El micrófono deberá estar integrado en pupitre, no será de tipo flexo o cualquier otro sistema superpuesto.

El pulsador de Hombre muerto deberá ser del tipo táctil capacitivo y con funcionalidad de doble efecto. Dispondrá de sistema de aviso tanto luminoso como acústico. El funcionamiento (manual, automático, tren parado, ...) y temporizaciones del Hombre Muerto (ciclo corto y largo) serán validados por FMB en fase de proyecto.

El manipulador de tracción/freno será del tipo palanca de accionamiento angular/rotativa. Su funcionamiento deberá permitir que el esfuerzo de tracción aumente mediante el desplazamiento

de la empuñadura hacia delante y el esfuerzo de frenado mediante su desplazamiento hacia el personal de conducción.

El dispositivo de hombre muerto estará incluido en el manipulador marcha/freno. La solución final y su funcionamiento deberá ser aprobada por FMB en fase de proyecto.

En todo caso, el diseño del manipulador deberá cumplir con los requisitos ergonómicos establecidos en la norma UNE-EN 894-3, asegurando que las fuerzas requeridas para su accionamiento no superen los siguientes valores:

- Desplazamiento desde la posición de neutro: máximo 3,2 kg (≈ 32 N).
- Aplicación de tracción del tren: máximo 1,2 kg (≈ 12 N).

Estas fuerzas deberán garantizarse durante toda la vida útil del equipo, y serán verificadas en fase de validación del diseño.

El manipulador de tracción/freno dispondrá de un apoyo ergonómico para mano, muñeca y/o antebrazo que permita el accionamiento del manipulador de tracción y sus elementos con postura natural, estable y confortable, minimizando esfuerzos estáticos innecesarios y desviaciones forzadas de la muñeca. Su diseño y disposición deberán ser compatibles con la antropometría de los conductores y con la ergonomía global del pupitre de conducción, conforme a los principios de integración ergonómica de la UNE-EN 16186-2. La solución definitiva a implantar será validada por FMB en fase de proyecto.

El manipulador de tracción/freno opondrá una resistencia al desplazamiento suficiente para evitar su accionamiento involuntario. Tendrá dos posiciones:

- 1.- Conectado:** En la cual se toma el mando del tren, siempre que no exista llave de gobierno previamente conectada en el otro puesto de conducción. Por tanto, en el caso de que los dos puestos de conducción tengan la llave de gobierno conectada, mandará la primera que se conectó, y la segunda cogerá el mando si pasa por 0 y se vuelve a conectar después de que la primera sea desconectada.
- 2.- Cero:** Mantendrá los equipos auxiliares en servicio.

El selector de marchas tendrá cinco posiciones, que al ser seleccionadas permitirán el desplazamiento del tren:

- **Atrás:** Hacia atrás con una velocidad máxima de 10 km/h.

- Cero: No hay ninguna marcha seleccionada y freno de emergencia activado.
- Túnel: Hacia adelante con velocidad máxima de 4 km/h.
- Maniobra: Hacia adelante con una máxima de 10 km/h.
- Adelante: Hacia adelante, con corte de tracción a la velocidad de 80 km/h y la aplicación de freno de emergencia a 90 km/h.

La validación de la cabina y del puesto de conducción en su conjunto, junto a la disposición de todos sus elementos, será sometida a la aprobación de FMB durante la fase de proyecto y realización de la correspondiente maqueta física y virtual. Será necesaria la validación y aceptación de la maqueta por parte de FMB para poder iniciar la fase de su fabricación.

2.4.4 Asiento del personal de conducción

El asiento del personal de conducción deberá cumplir con todos los requerimientos recomendados de ergonomía que establece la norma UIC 651, y deberá estar correctamente integrado y en armonía con el pupitre y con el resto de los elementos existentes en el puesto de conducción, permitiendo el movimiento libre de este en ambos extremos de regulación de sus componentes móviles.

El asiento del personal de conducción deberá tener, al menos, las siguientes características:

- Capacidad de regulación en altura y distancia por el usuario.
- Capacidad de regulación en ángulo del apoyo lumbar.
- Suspensión neumática y con llave de aislamiento no fácilmente accesible y debidamente protegida ante accionamientos involuntarios. Se conectará directamente a la TDP (tubería de presión), sin necesidad de panel específico de regulación.
- Respaldo ajustable por el usuario.
- Rotación horizontal del asiento (como mínimo +90° -90°) con enclavamiento en la posición de conducción.
- Cumplimiento con la norma EN 45545 de protección contra el fuego.
- Reposacabezas con regulación en altura y ángulo por el usuario.

- Reposabrazos plegable y regulable en altura, inclinación y longitud. En cualquier caso, las dimensiones del reposabrazos, aun regulando el asiento en todo su recorrido, deberá permitir reposar el codo en todo el recorrido de accionamiento del manipulador. El reposabrazos cumplirá con las siguientes características:
 - Longitud útil del reposabrazos del asiento: 250-300 mm (+/- 10 mm).
 - Anchura del reposabrazos: 60-80 mm (+/- 10 mm).
- Tapicería del asiento muy resistente a la abrasión e incluso el maltrato, y fácilmente lavable y/o sustituible.

El Adjudicatario, en fase proyecto, deberá presentar al menos tres (3) modelos diferentes de asientos de conducción. El asiento definitivo deberá ser aprobado por FMB.

El asiento del personal a la conducción estará diseñado conforme a principios ergonómicos y cumplir con lo establecido en el Real Decreto 1215/1997, relativo a las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. En particular, el Adjudicatario deberá proporcionar:

- Especificaciones técnicas completas de los asientos, incluyendo:
 - Rango de peso del usuario (mínimo y máximo).
 - Resistencia y comportamiento ante vibraciones.
 - Nivel de transpirabilidad de los materiales en contacto con el cuerpo.
 - Características de limpieza y mantenimiento.
 - Dimensiones (altura, profundidad, anchura, altura de respaldo, etc.).
- Instrucciones claras de uso y de regulación, que deberán suministrarse junto con el manual de operación del tren. Estas instrucciones permitirán al usuario adaptar el asiento a sus características físicas de forma segura y sencilla, tanto en posición como en ajuste de respaldo o amortiguación, si procede

El puesto de conducción estará lo más centrado posible respecto del eje longitudinal del vehículo, permitiendo la máxima visibilidad posible teniendo en cuenta la ubicación de la puerta de evacuación frontal de cabina.

A continuación, se relacionan a modo ilustrativo algunos de los requerimientos de ergonomía que deberá cumplir el asiento, sin que ello signifique que no se deban cumplir la totalidad de requerimientos y recomendaciones que contempla la norma de referencia UIC 651 independientemente de si se encuentran o no en esta relación:

- El asiento debe estar situado de modo que el personal de conducción se encuentre sentado y orientado en la dirección de las vías mientras conduce.
- Un segundo asiento orientado en la dirección de la vía debe estar disponible para un acompañante en cabina.
- El asiento debe estar firmemente fijado a la cabina para garantizar su estabilidad (por ejemplo, en el suelo o a una de las paredes).
- La posición del asiento debe permitir una evacuación rápida de la cabina por parte del personal de conducción.
- Si el asiento puede rotarse a tal fin, debe poder asegurarse para el uso normal (conducción) sin quedar bloqueado.
- El asiento y el respaldo deben ser fijos y permitir su ajuste.
- El asiento y el respaldo se recomienda que estén cubiertos por un material transpirable y fácilmente lavable que permita una transpiración normal del personal de conducción.
- La distancia entre los reposabrazos será como mínimo de 450 mm.
- La longitud mínima del respaldo será de 450 mm.
- La anchura del respaldo será como mínimo de 420 mm.
- La inclinación del respaldo estará comprendida entre los 5° y 15°.
- La longitud del asiento estará comprendida entre los 380 y 430 mm.
- La inclinación del asiento recomendada será de 5°.
- La altura del asiento medida en SRP será como mínimo de 420 mm.
- La regulación mínima de la altura del asiento será de 70 mm.
- La regulación mínima de la profundidad del asiento será de 150 mm.

En cualquier caso, se garantizará que la regulación del asiento proporcione unas condiciones óptimas de conducción para las condiciones antropométricas de la población tipo de FMB (estatura entre 155 cm y 200 cm).

El asiento deberá permitir realizar todas las funciones normales de conducción en posición sentada en una postura correcta del personal de conducción desde el punto de vista ergonómico y facilitar su ajuste al personal de conducción de diferentes alturas.

Se situará sobre una base sólida y a una altura y distancia del pupitre tales que cumplan las condiciones ergonómicas establecidas para la conducción y las dimensiones antropométricas facilitadas por FMB, respecto a la plantilla.

Debe ser posible abrir las puertas laterales, considerando cualquier posición del respaldo del asiento (entre 0° y 20° de inclinación respecto al eje vertical o de cualquier otro elemento fijo).

El asiento se podrá desplazar de forma sencilla, de manera tal que permite el paso de evacuación necesario para la puerta de evacuación frontal cumpliendo con todos los requerimientos de accesibilidad.

Se dispondrá en cabina de un asiento auxiliar plegable con respaldo, y en sentido de la marcha. Desde la ubicación de este asiento auxiliar deben poder verse las actuaciones del personal de conducción. La ubicación y tipo de asiento deberá ser validado en la fase de proyecto por FMB.

2.4.5 Iluminación del puesto de conducción

En la zona de puesto de conducción se deberá garantizar una correcta iluminación del puesto de conducción y de los armarios cuando se acceda a ellos. No se producirán sombras en el pupitre durante la conducción estando el personal de conducción sentado o de pie. El interruptor de accionamiento se situará en el puesto de conducción y lucirá cuando lo haga el alumbrado del puesto de conducción.

El sistema de iluminación del pupitre deberá estar diseñado de manera que no genere reflejos ni efectos espejo sobre los cristales frontales de la cabina, garantizando así una visibilidad óptima de la vía en el interior del túnel durante la conducción, conforme a la normativa de seguridad ferroviaria aplicable.

Ambos sistemas, el de iluminación general de cabina y el de iluminación del pupitre, deberán ser independientes entre sí y diseñarse conforme a los criterios de iluminación aplicables al material rodante de ferrocarril urbano, de acuerdo con la UNE-EN 13272-2. Complementariamente, podrán tomarse como referencia los criterios generales de confort visual de la UNE-EN 12464-1 en aquello que no contradiga la normativa ferroviaria específica. Se verificará que la luz del

pupitre no interfiera ni obstaculice la visión hacia el exterior, especialmente en zonas de túnel con baja luminosidad ambiental.

La iluminación del puesto de conducción deber alcanzar los 200 luxes y ser regulable en intensidad por parte del personal de conducción.

Con el fin de evitar cualquier confusión con la señalización exterior de servicio, no se permitirá en la cabina de conducción el uso de iluminación verde ambiental, ni de luces verdes permanentes, fijas o intermitentes, con función general de señalización, salvo en aquellos equipos o sistemas cuya utilización venga expresamente impuesta por la normativa ferroviaria de aplicación.

No obstante, se permitirá el uso de indicaciones luminosas verdes en mandos locales del pupitre de conducción cuando estén inequívocamente asociadas a una función concreta y no a la señalización ferroviaria de marcha, siempre que su encendido sea temporal, su intensidad esté limitada, no genere reflejos perturbadores en las lunas y no pueda inducir confusión con señales exteriores o indicaciones de conducción.

En particular, se admite la utilización de color verde en los pulsadores de mando de puertas del pupitre para indicar habilitación, autorización o confirmación de apertura de puertas durante la parada en estación, siempre que dichos indicadores se apaguen una vez confirmada la orden o el estado de cierre de puertas.

La proporción de luminancia $\left(\frac{L_{max}}{L_{min.}}\right)$ para las pantallas visuales sobre el pupitre del personal de conducción el resto del pupitre del personal de conducción y el entorno será 1: 3: 10 respectivamente.

Todas las señales luminosas deberán poder ser leídas correctamente ya sea con luz de cabina apagada, luz natural o con luz artificial secundaria.

Los pulsadores e indicadores luminosos que no sean ajustables y que estén iluminados continuamente deberán tener una luminancia de $(0.1 + 0.1)$ lx. Si se permite un ajuste en el nivel de luminancia este deberá estar en un rango de 0.3 lx a 30 lx.

La iluminación será uniforme y de 50 lux a nivel de pupitre para evitar continuados ajustes de la pupila.

2.4.6 Ergonomía del puesto de conducción

El diseño del puesto de conducción, tanto en su forma como en la distribución de aparatos, pantallas y palancas de mando, así como del asiento, reposapiés, espacios de alcance,

visibilidad y entorno de trabajo, se realizará con criterios ergonómicos, tomando como norma de referencia la U.I.C. 651. Adicionalmente, se tomará como referencia técnica en aquello que sea de aplicación la UNE-EN 16186-1, teniendo en cuenta las medidas antropométricas de la plantilla de conducción y los criterios de validación establecidos por FMB.

El diseño del puesto de conducción y sus componentes tendrá en cuenta las medidas antropométricas de la plantilla de FMB (altura entre 155 cm y 200 cm).

El puesto de conducción contemplará la inclusión de un asiento para el personal de conducción, todo ello sin menoscabo de la zona de paso en caso de emergencia para el pasaje. La ubicación y funcionalidad de dicho asiento deberá ser validado por FMB en fase de proyecto.

El puesto de conducción deberá disponer de un reposapiés, el cual será regulable en altura y en ángulo de inclinación mediante un pedal situado en el lateral derecho de este. La citada regulación permitirá adaptar las medidas mínima y máxima del personal de conducción de FMB.

A continuación, se relacionan a modo ilustrativo algunos de los requerimientos de ergonomía que deberá cumplir el entorno de cabina, pupitre, visibilidad, elementos auxiliares, etc., sin que ello signifique que no se deban cumplir la totalidad de requerimientos y recomendaciones que contempla la norma de referencia UIC 651 independientemente de si se encuentran o no en esta relación:

Entorno de cabina

- El suelo de la cabina debe ser plano, sin escalones.
- El suelo debe estar recubierto por un material antideslizante y fácil de limpiar.
- La altura en todos los puntos de la cabina dónde el personal de conducción pueda estar en posición de pie será de 2.000 mm.
- La profundidad de la cabina a nivel de la vista del personal de conducción en posición sentada (medida de la luna delantera al elemento más cercano tras el asiento del personal de conducción), será como mínimo de 1.500 mm.
- La anchura de la cabina a la altura de la vista del personal de conducción será como mínimo de 2.000 mm.
- La distancia desde los ojos del personal de conducción a la luna delantera estará comprendida entre los 500 y los 1.200 mm.

- El volumen de aire dentro de la cabina será como mínimo de 10 m³. Deberá haber un volumen mínimo de renovación de aire de 30 m³/h por persona y que sea regulable en función de la ocupación de la cabina hasta un máximo de 60 m³/h.

Pupitre

- El pupitre de conducción, así como los elementos de conducción y control, deben estar dispuestos de modo que permitan al personal de conducción adoptar una postura normal, sin perjudicar su libertad de movimientos.
- La forma y dimensiones del pupitre deben garantizar un acceso fácil del personal de conducción al asiento, así como suficiente libertad para movimiento de rodillas y piernas.
- Los controles deben disponerse de forma funcional y lógica, tanto a nivel individual como de agrupación de funciones.
- El entorno óptimo de alcances y visual del personal de conducción debe incluir únicamente aquellos controles y dispositivos de información que deban ser manipulados o monitorizados durante la conducción normal o en caso de peligro.
- El resto de los controles e indicadores deberían quedar en un segundo plano para evitar distracciones.
- Dichos controles e indicadores deben ser diseñados de modo que el personal de conducción pueda identificarlos y manejarlos sin error incluso en la oscuridad, y además ser capaz de leer la información disponible sin dificultad tanto en condiciones diurnas como nocturnas.
- Los controles e indicadores deben estar claramente identificados. Cuando no se aporte un pictograma, el texto identificativo debe ser corto y evitar ambigüedades.
- La inclinación de la pantalla estará comprendida entre los 20º y los 40º.
- La distancia entre el borde más prominente del pupitre y el punto SRP del asiento será como mínimo de 350 mm.
- El espacio mínimo para la rodilla será de 140 mm.
- La distancia mínima entre el borde del asiento y el fondo del pupitre será de 300 mm.
- La altura de la parte inferior del pupitre estará comprendida entre los 800 y los 900 mm.

- El espesor máximo del pupitre será 170 mm.
- La altura máxima de la superficie del pupitre será 1.050 mm.
- La profundidad mínima del espacio debajo del pupitre será de 600 mm.
- La distancia recomendada entre el *Heel Point* (HP) del reposapiés y el borde más prominente del pupitre será de 170 mm.

Reposapiés

- La anchura mínima del reposapiés será de 500 mm.
- La altura del **Heel Point** (HP) será regulable entre los 150 y los 250 mm.
- La inclinación de su superficie de apoyo será regulable entre 15° y 25°.
- La superficie debe estar recubierta de un material antideslizante.

Visibilidad

- En lo referente a la visibilidad exterior, la norma UIC 651 marca la posición de dos elementos elevados y dos elementos situados más bajos, que se deben visualizar desde la posición de conducción. En concreto, dichos elementos se sitúan delante de la cabina con las siguientes especificaciones:
 - **Señales altas:** a 2,50 metros a ambos lados del centro de la vía, a una altura de 6,30 metros y 10 metros delante de la cabina.
 - **Señales bajas:** a 1,75 metros a ambos lados del centro de la vía, a la misma altura de ésta, y a 15 metros delante de la cabina.
- La luna de cabina ofrecerá una visión nítida, sin deformación de la imagen, y sin mostrar reflejos. Se evitarán los reflejos y deformación de la imagen en el cristal de testera.

La altura de la cabina no debe ser inferior a 2.000 mm en cualquier punto accesible.

La distancia entre el suelo de la cabina y el borde superior de la ventana del panel frontal no debe ser inferior a 1.800 mm.

La separación entre los elementos materiales existentes en el puesto de trabajo será suficiente para que los trabajadores puedan ejecutar su labor en condiciones de seguridad, salud y bienestar.

Estará equipada con sistema de iluminación de emergencia, alimentado a partir de la batería, preferiblemente con la unidad de alimentación incorporada.

Su disposición, planteada desde el punto de vista ergonómico, permitirá que éste pueda realizar su misión con eficacia, regularidad y seguridad (norma UNE-ENV-12299).

El puesto de conducción se diseñará para la realización de las funciones normales de conducción en posición sentada, no constituyendo la conducción de pie un modo de operación previsto ni exigible para la unidad.

La disposición del pupitre de conducción, de sus equipos, pantallas y mandos de funcionamiento deberá permitir al personal de conducción mantener una postura normal en la posición de conducción más frecuente, sin obstaculizar su libertad de movimiento, se tomará como referencia técnica en aquello que sea de aplicación la UNE-EN 16186-1, teniendo en cuenta las medidas antropométricas consideradas para el diseño del puesto de conducción.

Se tendrán en cuenta todos aquellos factores que racionalicen y mejoren sus condiciones de trabajo, como son:

- Una buena visibilidad (conforme a la ficha U.I.C 651 OR anexo D), considerando la particularización de la ubicación de las señales luminosas en la red de Metro. La ubicación del asiento de conducción deberá permitir la visión de los espejos y pantallas retrovisoras que se encuentran en los andenes de la red de FMB.
- Buenas condiciones de ventilación y temperatura (se cumplirá lo establecido en la norma UNE EN 14813).
- Una manipulación sencilla de los órganos de conducción (según U.I.C 612 y U.I.C 651 OR anexo I).
- Un confort aceptable, con atenuación de ruidos y vibraciones, asiento, adecuado, etc. Deberá cumplir con lo especificado en los apartados “9.5 VIBRACIONES” y “9.6 RUIDO”.

Las señales acústicas generadas por los equipos embarcados en la cabina de conducción deberán ser claramente audibles en cualquier condición de operación, garantizando un nivel sonoro al menos 6 dB(A) superior al nivel de ruido existente en cabina, medido en condiciones representativas de explotación.

El diseño del sistema permitirá el ajuste del nivel sonoro de las señales acústicas para garantizar su correcta percepción sin provocar molestias al personal de conducción y cumpliendo con la legislación vigente en materia de prevención de riesgos laborales.

El puesto de conducción no debe presentar superficies afiladas o cortantes.

En los acabados de las superficies de la estructura la cabina no debe producirse reflejos no deseados (por ejemplo, superficies brillantes). El reflejo de la luz debe ser difuso y no concentrado.

La disposición del puesto de conducción vendrá determinada por un estudio ergonómico realizado por el Adjudicatario, conforme a la norma U.I.C 651 y a los requerimientos de este pliego, que tome en consideración cada movimiento del personal de conducción, cada elemento indicador y los ángulos de visión indispensables para la conducción y la apertura y cierre de puertas en las estaciones.

El estudio se realizará teniendo en cuenta las medidas antropométricas, tanto mínimas como máximas, del personal de conducción de trenes de FMB. Este estudio servirá asimismo para determinar los elementos que deban ir en el pupitre y su distribución.

Las vibraciones a nivel de la conducción llegarán atenuados al personal de conducción de tal forma, que el nivel máximo recibido no sea superior (según el Real Decreto 1311/2005) a:

VIBRACIONES MANO-BRAZO	VIBRACIONES DE CUERPO-ENTERO
Valor límite de exposición para 8h 5m/s^2	Valor límite de exposición para 8h $1,15\text{m/s}^2$
Valor de exposición que da lugar a una acción para 8h $1,5\text{m/s}^2$	Valor de exposición que da lugar a una acción para 8h $0,25\text{m/s}^2$

En cualquier caso, se deberá cumplir con lo especificado en las normas UNE-EN ISO 5349 e ISO 2631.

El anclaje del pupitre de conducción será de tal manera que elimine las vibraciones.

En fase de Proyecto el Adjudicatario facilitará a FMB las mediciones, ensayos o pruebas relativos a la vibración mano-brazo y cuerpo entero, tanto en posición de pie como en posición de conducción sentada, antes de la puesta en servicio del tren. Los resultados de las mediciones deberán ser validados por FMB.

2.4.7 Armarios de dotación

En la cabina de conducción se dispondrá, como mínimo, de:

- dos ganchos para ropa o un espacio equivalente con colgador,

- armarios con un espacio libre destinado a efectos personales del personal de conducción (mochila o bolsa), con unas dimensiones mínimas de 300 mm × 400 mm × 400 mm.

La disposición concreta de estos elementos deberá garantizar su correcta integración ergonómica en la cabina y no interferir con la operación ni con la seguridad.

Los armarios que contengan elementos para la conducción, para resolución de incidencias, o que se deban manipular en algún momento, estarán próximos al puesto de conducción y/o dentro de cabina y dotados del correspondiente cierre con llave de seguridad.

Los armarios dispondrán de:

- Un cargador de radioteléfono de líneas convencionales.
- Un soporte para teléfono móvil.
- una linterna con cargador en cada uno de los extremos del tren, debiendo la linterna disponer de luz blanca y roja.
- Dos tomas de tensión de 230 V.
- Taburete para acceso a trampillas.
- Utillaje de desbloqueo manual del freno de estacionamiento.

El listado definitivo de elementos y su disposición dentro del tren será validada por FMB en fase de proyecto.

Asimismo, deberá garantizarse la disponibilidad en cabina de conducción del extintor de incendios exigido en el presente Pliego, conforme a lo indicado en el apartado 6.4.

La disposición definitiva de los elementos, su accesibilidad y su ubicación dentro del tren será validada por FMB en fase de proyecto.

Los conjuntos del armario del pupitre estarán perfectamente protegidos contra la entrada de polvo, para lo cual se instalarán las juntas correspondientes con una protección mínima IP-54, según norma UNE 20324. La distribución de dichos armarios, así como el tamaño y posición deberán ser validados por FMB en fase de proyecto.

2.4.8 Puerta frontal de evacuación

El pupitre y el asiento del personal de conducción se diseñará para que permita la evacuación.

La puerta frontal de evacuación deberá diseñarse de forma que permita, en una futura transformación del tren a conducción automática, su adaptación como vía de evacuación frontal para el pasaje, manteniendo un sistema de desbloqueo y apertura accionable desde el interior por los pasajeros, condicionado a las autorizaciones y enclavamientos de seguridad del tren, y con despliegue de pasarela/rampa que permita la evacuación hacia la vía.

La puerta de evacuación frontal estará formada por una puerta batiente de una sola hoja, la cual realizará una apertura hacia el exterior del vehículo, sin salir del gálibo del tren, al tiempo que despliega una escalera para permitir la evacuación de emergencia para el personal de conducción. En caso de transformar el tren para conducción automática se adaptará para la evacuación del pasaje.

En el diseño de la puerta de evacuación frontal se garantizará la correcta visibilidad de los espejos retrovisores de andén en las estaciones donde haya doble andén.

La puerta frontal de evacuación se ubicará a la izquierda de la cabina y dispondrá de un paso libre útil con una anchura mínima de 480 mm y una altura mínima de 1.900 mm. Dichas dimensiones deberán mantenerse en la configuración real de evacuación, considerando marco, juntas, manetas, mecanismos y cualquier otro elemento que pueda reducir el hueco de paso.

La apertura de la puerta frontal de evacuación será sencilla, intuitiva y realizable por una sola persona. El despliegue completo de la escalera de evacuación se realizará en menos de 30 segundos, incluyendo la apertura de la puerta.

La escalera dispondrá de barandillas o asideros adecuados a ambos lados. La geometría de los peldaños, huella, contrahuella, inclinación, superficie antideslizante y condiciones de uso deberá cumplir la legislación vigente y deberá ser justificada por el Adjudicatario en fase de proyecto.

La puerta, en posición abierta, deberá mantenerse inmovilizada mediante un sistema de retención, enclavamiento o freno que impida su cierre accidental por viento, vibraciones, pendiente, golpes o manipulación involuntaria.

El sistema de recogida de la escalera deberá diseñarse de forma que no genere riesgos de atrapamiento, aplastamiento, cizallamiento, corte o golpeo para el personal que realice la maniobra. En particular, no se admitirán soluciones en las que durante el repliegue se produzcan movimientos súbitos, caídas por gravedad, cierres no controlados, efecto guillotina entre peldaños o pérdida de control de la escalera en cualquier punto del recorrido.

Durante toda la maniobra de recogida, el movimiento de la escalera deberá ser controlado, progresivo y estable. El sistema deberá disponer de medios de retención, amortiguación, compensación, guiado o enclavamiento que impidan aceleraciones bruscas o movimientos

incontrolados, incluso en caso de fallo simple razonablemente previsible, desgaste, desajuste, suciedad o uso repetido.

Las zonas de posible atrapamiento o cizallamiento entre peldaños, bielas, articulaciones, guías, estructura fija, puerta y escalera deberán eliminarse mediante diseño seguro o, cuando no sea posible, protegerse mediante resguardos, distancias de seguridad, geometrías que impidan la introducción accidental de dedos/manos, señalización permanente y procedimientos de uso seguros.

El plegado deberá poder realizarse de forma ergonómica y segura por el personal de FMB, sin necesidad de introducir las manos, brazos u otras partes del cuerpo en zonas de atrapamiento o cizallamiento. El útil específico para la recogida deberá suministrarse con cada tren, disponer de alojamiento definido, estar identificado y permitir realizar la maniobra desde una posición segura.

El tiempo de plegado será inferior a 5 minutos, sin que el cumplimiento de este tiempo pueda justificar soluciones que comprometan la seguridad del personal durante la maniobra.

El Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto un análisis específico de riesgos de la puerta y escalera frontal de evacuación, incluyendo apertura, despliegue, utilización, recogida, bloqueo, desbloqueo, fallo de alimentación, fallo mecánico, mantenimiento y uso en condiciones degradadas. Dicho análisis deberá identificar expresamente los riesgos de atrapamiento, aplastamiento, cizallamiento, corte, golpeo y movimientos incontrolados, así como las medidas de diseño adoptadas para eliminarlos o reducirlos.

El diseño definitivo, el procedimiento de operación, el procedimiento de recogida y los útiles necesarios serán validados por FMB en fase de proyecto.

El dispositivo de accionamiento estará cubierto por una tapa precintada y extraíble.

El mecanismo será de accionamiento electromecánico con diagnóstico de estado y bloqueo eléctrico de apertura. El funcionamiento del mecanismo estará supervisado por el sistema informático y el sistema de conducción automático si lo hubiera, quedando liberado en caso de ausencia de tensión de batería.

El estado de la puerta de evacuación frontal deberá estar monitorizado por el sistema informático del tren.

El rearme del sistema de desbloqueo tipo tirador deberá ser manual y se deberá poder realizar con la misma llave de cuadradillo utilizada en los demás cierres del tren.

El suelo de la escalera será de clase 3 y dispondrá de una franja claramente visible, continua y de un ancho mínimo de 30 mm, similar a la utilizada en los estribos de acceso al tren

La solución definitiva deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

2.5 SISTEMA NEUMÁTICO (D)

El sistema neumático será de “tubería única”, de la cual, saldrán las ramificaciones para los diversos circuitos. Cada circuito quedará protegido por su correspondiente válvula de retención y grifo de aislamiento.

En cada coche se dispondrá de dos tomas adicionales para suministro de aire externo, de enlace rápido para manguera, una a cada lado de la caja. Dichas tomas serán completamente compatibles con las existentes actualmente en las instalaciones de FMB.

Los depósitos principales estarán en comunicación con la tubería principal, estableciéndose un equilibrio de presiones a lo largo del tren.

Los elementos que formen parte del sistema neumático vendrán montados sobre un panel cerrado, el cual no presentará al exterior del coche ninguna tubería.

Todos los elementos serán de fácil reposición, quedando sujetos al panel por tornillos y juntas tóricas, sin necesidad de roscar ningún tubo.

En el caso de una composición múltiple por acoplamiento, las tuberías únicas (TDP) quedarán conectadas entre sí, de forma que equilibren las presiones en todas las unidades.

2.5.1 Grupo motocompresor

Se montarán dos grupos motocompresores por tren, para producir el aire comprimido necesario.

Los grupos motocompresor encargados del suministro del aire comprimido, tendrán un funcionamiento alternativo haciendo que el tiempo total de funcionamiento sea el mismo.

El compresor será libre aceite especialmente diseñado para el sector ferroviario.

La presión de trabajo estará comprendida entre 8,5 y 11 kg/cm², regulable.

Podrá funcionar en régimen continuo durante 24h, sin detrimento de sus características, con una contrapresión de 11 kg/cm². El cumplimiento de este requisito se demostrará mediante el correspondiente ensayo en banco, en fase de proyecto.

- El sistema de producción de aire deberá estar dimensionado de forma que, en condiciones normales de presión, temperatura y carga neumática, cada compresor trabaje en un régimen eficiente y térmicamente estable. La lógica de mando deberá garantizar la distribución equilibrada del tiempo de funcionamiento entre ambos compresores a lo largo del servicio, así como evitar arranques/paradas innecesarios o funcionamiento continuo por mal

dimensionamiento del sistema. El Adjudicatario deberá justificar, en las fases de Ingeniería y ensayos tipo y validación del diseño, mediante simulación y pruebas que el régimen operativo previsto asegura la durabilidad, eficiencia y fiabilidad del compresor conforme a sus especificaciones de diseño y deberá ser validado por FMB.

La bancada de sujeción del grupo será de forma que el conjunto motor-compresor sea fácil de cambiar (tiempo de la operación de 15 a 20 minutos) debiendo, en consecuencia, preverse conexiones eléctricas y neumáticas, robustas y sencillas de montar y desmontar.

El equipo de producción de aire no deberá transmitir ningún tipo de vibración a la caja de pasaje, para ellos se preverán los elementos necesarios para eliminar dicha vibración.

Estando todo el equipo a la presión atmosférica, la presión nominal se alcanzará en un máximo de 12 minutos.

En caso de fallar un grupo de producción de aire, el otro será capaz de mantener el servicio normal del tren completo, aumentando proporcionalmente el tiempo relativo de funcionamiento.

Se dispondrá de un contador de horas de funcionamiento y puesta en marcha y se podrá consultar los datos en la pantalla de conducción.

El compresor estará equipado con un sistema de detección de avería que transmitirá la información al sistema informático que impedirá la puesta en marcha en caso de anomalía. Dicho sistema deberá detectar como mínimo parámetros como sobre temperatura, sobrecorriente, tiempo de carga, ...

El compresor de aire deberá estar diseñado específicamente para su instalación en vehículos ferroviarios y cumplir con los ensayos tipo y de serie definidos en la norma IEC 60349-2.

Se protegerá la línea y el compresor con un magnetotérmico y un interruptor diferencial con señalización y posibilidad de rearme manual desde el puesto de conducción. En la salida del compresor, se debe disponer de una válvula de seguridad interna del módulo de producción de aire, para proteger el circuito de sobrepresiones.

El mando de los compresores será concebido para funcionar de forma autónoma cuando esté fuera de servicio el sistema informático o el equipo de mando neumático para garantizar la producción de aire.

El sistema informático del tren intervendrá sobre el arranque y paro de los compresores de forma que priorice:

- En el inicio de la carga del tren, deben funcionar los 2 compresores para minimizar el tiempo y alcanzar la presión de trabajo.
- Con tren cargado, habrá un primer umbral de presión mínima que determinará el arranque de uno de los compresores. El sistema informático establecerá unos rangos de tiempo para que los períodos de trabajo de ambos compresores sean homogéneos.
- Habrá un segundo umbral de presión a partir del cual arrancarán los 2 compresores.

La producción de aire se garantizará ante algún fallo de los transductores o ante el aislamiento neumático de algún coche.

Se debe garantizar el funcionamiento de los compresores, aunque exista avería en los canales de comunicaciones o en los procesadores, debiéndose contemplar este extremo en el diseño de los modos degradados del sistema de monitorización y control; así como del equipo de mando neumático.

El mando de ambos compresores principales se realizará de forma eficaz y segura utilizando técnicas failsafe. Una sola avería o incidencia en el sistema de control no podrá comprometer el suministro de aire comprimido al tren.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá justificar y garantizar el régimen de trabajo más adecuado para ambos compresores y en base a ello diseñar un sistema totalmente redundado (tanto a nivel software como hardware) de suministro de aire. Cualquier pérdida de elemento o funcionalidad redundada deberá poder ser indicada en puesto de conducción o en CCM, aunque no implique afectación observable.

El diseño global de mando del sistema que suministre el aire comprimido al tren; se realizará prestando especial atención a los modos degradados de funcionamiento del mismo y optimizando al máximo movilidad segura del tren ante fallos del sistema de mando. El Adjudicatario deberá exponer y justificar la solución global adoptada, con posterioridad se someterá a la aprobación de FMB.

El Adjudicatario deberá implementar un sistema de emergencia que permita la conexión de los dos compresores principales del tren, cuando esta conexión no sea posible efectuarla mediante el sistema informático de monitorización y control, por mal funcionamiento de éste o cualquier otro fallo, tanto de control como de comunicaciones, de las que dependan los compresores. Se deberán proporcionar en fase de proyecto los diferentes rangos de trabajo, tanto en modo nominal, como en los diferentes estados degradados.

El mando gobernará el funcionamiento de los compresores principales para que la presión de aire en la tubería general se mantenga en todo momento dentro de valores adecuados para el correcto funcionamiento del equipo neumático.

Cada motor compresor deberá poseer protección térmica y contra sobrecargas, de modo que el estado de dichas protecciones sea conocido por la lógica de mando de los compresores, pudiendo ser enviado al sistema informático y al CCM, para decidir la desconexión temporal o permanente del compresor, si ello fuese necesario.

Se monitorizarán todos y cada uno de los parámetros relevantes para supervisar su correcto funcionamiento por la lógica de mando de los compresores, con objeto de ordenar su desconexión, si fuese necesario, antes de que pueda sufrir daño.

Se deberá garantizar el suministro de aire comprimido en el tren por lo que la lógica de mando de los compresores principales deberá tener en cuenta el estado de los dos compresores del tren y de los convertidores estáticos de ambas unidades que generan la alimentación alterna para dichos compresores. La lógica de mando podrá reconfigurar las interconexiones eléctricas entre convertidores y compresores para garantizar el suministro de aire en el tren, siempre que exista un convertidor estático y un compresor operativo.

En condiciones normales de servicio y en caso de que esto se encuentren ubicados en los coches con cabina, funcionará el compresor opuesto a la cabina de conducción activa.

2.5.2 Acondicionamiento del aire

A la salida del grupo motocompresor se instalará un secador de doble columna. Se añadirá a este sistema una purga adecuada cuyos vertidos no incidirán sobre los carriles y cuyo funcionamiento podrá estar asociado, o no, al propio funcionamiento del compresor.

El control de las cámaras secantes activas será memorizado por el sistema para asegurar su correcta alternancia.

Los secadores llevarán un sistema que permita revisar el estado del agente absorbente visualmente sin tener que desmontarlo.

A la salida del secador se alcanzará un punto de rocío suficiente para no producir condensados en la instalación, a la temperatura inferior especificada en el pliego.

El aire suministrado por el sistema neumático del tren deberá cumplir con la norma ISO 8573-1, con una clase de pureza mínima 3-2-0, o equivalente, definida como:

- Clase 3 para partículas sólidas: máximo 5 μm , hasta 5 mg/m^3 ,

- Clase 2 para contenido de agua: punto de rocío $\leq -40\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Clase 0 para contenido de aceite: definido por el fabricante, pero en ningún caso superior a $0,01\text{ mg/m}^3$.

El cumplimiento de esta calidad deberá certificarse mediante ensayo en banco y garantizado durante la vida útil del sistema de secado y filtrado.

2.5.3 Depósitos

El Adjudicatario instalará los depósitos necesarios para abastecer a toda la instalación neumática de la unidad con la presión mínima nominal del compresor, de forma que puedan efectuarse, como mínimo, tres frenados consecutivos máximos en condición de carga máxima o excepcional AW4, con parada completa de la unidad en el caso de no funcionar ningún compresor.

Todos los depósitos de aire del tren, con independencia de su función, deberán ser conformes al Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, y al Real Decreto 108/2016, de 18 de marzo, o a la normativa que los sustituya o complemente, cuando resulte de aplicación.

Dichos depósitos deberán suministrarse con su correspondiente marcado, documentación técnica y evidencias de conformidad reglamentaria. El Adjudicatario acreditará en fase de proyecto dicha conformidad mediante certificados, declaraciones y documentación técnica del fabricante, incluyendo las condiciones de diseño, fabricación, ensayo, marcado e inspección que resulten aplicables.

Todos los depósitos llevarán en una zona visible la correspondiente indicación de su marcado CE. Además, incorporarán aislamientos y todo aquello necesario para realizar las verificaciones periódicas de los mismos sin necesidad de desmontaje.

Todos los depósitos llevarán en una zona visible y convenientemente adosada la correspondiente indicación de su marcado CE por un organismo de control autorizado (O.C.A.). Además, incorporarán aislamientos y todo aquello necesario para realizar las verificaciones periódicas de los mismos sin necesidad de desmontaje del tren.

Dispondrán de un regulador de presión de forma que ésta se mantenga entre 8,5 y 10 Kg/cm², en los depósitos principales.

Todos los depósitos principales dispondrán de un grifo para su purga.

Los depósitos serán de aluminio y deberán cumplir la normativa UNE-EN 286-4 para calderines de aluminio, la Directiva de recipientes a presión, así como cualquier otra normativa vigente en cuanto a recipientes a presión que les sea aplicable. De obligado cumplimiento para el material

rodante ferroviario por la nota de aplicación: REP Guía 01_02_v3 reglamentación específica guía 6 del 22/5/2012 del Real Decreto 2060/2008 del 12 de diciembre relativo a equipos a presión.

Los recipientes serán de forma geométrica simple, estarán compuestos de un cuerpo cilíndrico de sección transversal circular (virola) y de dos fondos abombados toriesféricos que tendrán su convexidad hacia el exterior (tapas o fondos).

Los depósitos se podrán utilizar durante toda la vida útil del vehículo al que están incorporados, hasta un máximo de 40 años. No obstante, en circunstancias especiales (cuando se esté sustituyendo o renovando una serie de vehículos) puede prolongarse la duración en servicio bajo una supervisión específica.

2.5.4 Instalación

Todos aquellos elementos que sean posibles deberán ir montados en el panel neumático reduciendo, por tanto, la longitud de tubería. En aquellos lugares en que sea preciso usar tuberías flexibles, serán de material resistente al agua, aceites y grasas y se colocarán de manera que no tengan roces entre sí, ni con ningún elemento del coche.

Los principales módulos y elementos neumáticos deben contar con llaves de aislamiento de fácil acceso, para que no sea necesario vaciar la instalación completa para llevar a cabo su sustitución.

La unión de los aparatos o de las tuberías se realizará con ayuda de racores. El Adjudicatario deberá indicar el tipo de racores que se proponen utilizar, los cuales deberán ser explícitamente aceptados por FMB, durante la fase de Proyecto. El sistema propuesto debe asegurar la máxima fiabilidad de la unión.

Las tuberías serán de acero inoxidable sin soldadura. Se deberá evitar la producción de óxidos y degradaciones interiores de las tuberías que dificulten el correcto funcionamiento del Sistema neumático y del Equipo de freno.

El número de fijaciones será suficiente para la correcta fijación evitando vibración de las tuberías, roces y posibles desconexiones intempestivas de algún racor.

Los radios de curvatura de los tubos utilizados serán los adecuados para que no se produzcan disminuciones en la sección de estos.

Las conexiones neumáticas mediante manguera flexible serán las mínimas posibles y la conexión neumática caja-bogie se efectuará mediante dos conectores neumáticos múltiples de fácil desmontaje para su desacople.

Las tuberías de bogie terminarán en una mitad de este conector que estará fijada al bogie y la otra mitad se colocará en el extremo de las mangas flexibles que proceden del equipo de caja.

Las mangas flexibles serán de material resistente al envejecimiento y a las condiciones de trabajo y dimensionadas para su presión de trabajo. Su longitud será la que permita desplazamientos relativos caja- bogie de modo que no queden forzadas o estranguladas en su paso.

Las derivaciones de las tuberías se harán de manera que eviten el paso de agua procedente de la condensación.

Las manetas de las llaves de aislamiento deben permanecer verticales en la posición "normal de trabajo". Tendrán una muesca que indique la dirección del paso de aire.

Los paneles de freno y demás paneles auxiliares deberán ir montados en cofres cerrados con tapa, con cierres seguros, herméticos (IP65) y fáciles de abrir para su inspección, sin producir vibraciones ni ruidos.

2.5.5 Regulación y protecciones

La instalación neumática del tren deberá contar con los elementos necesarios para garantizar un funcionamiento seguro y controlado del sistema de aire comprimido en todo momento.

Para ello, se integrarán los transductores de presión y presostatos necesarios en los coches que alberguen grupos compresores, de forma que se asegure la correcta conexión y desconexión automática de los compresores según los umbrales definidos por el sistema de control.

Asimismo, para proteger la instalación neumática ante situaciones de sobrepresión —derivadas de fallos en los dispositivos de regulación o de mando—, se instalará una válvula de seguridad aguas abajo del depósito principal. Esta válvula actuará automáticamente cuando la presión supere un valor comprendido entre el 10 % y el 12 % por encima de la presión máxima de servicio.

El diseño del sistema de protección deberá garantizar que ningún componente neumático embarcado pueda quedar expuesto a presiones superiores a las admisibles por su diseño.

2.5.6 Suspensión neumática

La alimentación se efectuará de la tubería principal, a través de una electroválvula de condena monitorizando su estado.

La diferencia de presión entre balonas del mismo bogie será compensada por una válvula de rebose.

Se deberá disponer de un sistema por medio del cual se pueda eliminar el aire de la suspensión, asentándose la misma sobre sus topes.

Las variaciones de presión en la suspensión, debido a la carga, se enviará al equipo de control y unidad de freno neumático, con objeto de mantener constantes las aceleraciones y deceleraciones, así como, la diferencia de presión entre bogies de un mismo coche. Las válvulas y los dispositivos de carga quedarán incorporados en el bogie.

2.5.7 Dispositivo de aviso acústico

El tren dispondrá de un silbato de aviso instalado bajo bastidor en cada testero extremo del tren.

El silbato será accionado electro-neumáticamente mediante un pulsador situado en el pupitre de conducción, y deberá permitir además el accionamiento remoto desde otros sistemas autorizados (por ejemplo, conducción automática).

Cuando se accione el pulsador, únicamente sonará el silbato del testero activo (en el sentido de marcha o cabina habilitada). El accionamiento del silbato o dispositivo de advertencia acústica deberá poder realizarse desde todas las posiciones de conducción operativas previstas en la cabina, incluidas la posición sentada, la posición de pie y cualquier otra posición de conducción contemplada en el diseño del vehículo.

La intensidad, las frecuencias y el nivel de presión acústica de los avisadores acústicos cumplirán la UNE-EN 15153-4, en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato. No obstante, el sistema deberá ser validado por FMB en condiciones reales de operación, especialmente en estaciones subterráneas y andenes cerrados. El Adjudicatario deberá justificar dicho cumplimiento mediante la documentación técnica y los ensayos correspondientes. En concreto:

- La señal acústica deberá ser inequívocamente perceptible por usuarios y personal de operación, tanto en estaciones subterráneas como en tramos exteriores.
- Se prestará especial atención a no generar molestias excesivas ni interferencias con otros avisos o sistemas de megafonía.
- La intensidad, tono, frecuencia y tipo de avisador serán definidos y ajustados conjuntamente con FMB durante la fase de proyecto, sobre entorno real y tren prototipo.

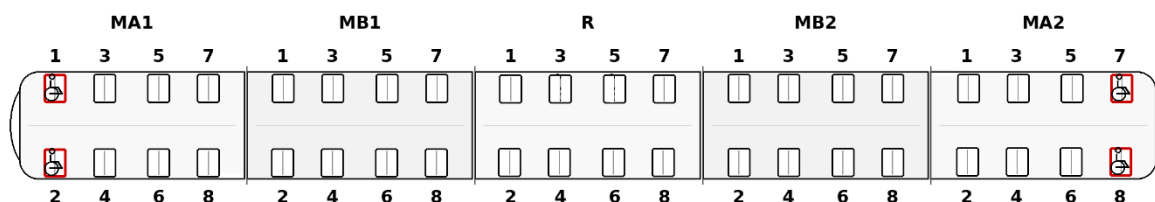
El silbato de aviso y su sistema de control deberán estar diseñados y protegidos, de forma que mantengan su función ante impactos de objetos aéreos y frente a la exposición a residuos, polvo y otros agentes ambientales propios de la explotación.

2.6 PUERTAS (E)

2.6.1 Características técnicas

Las puertas de acceso a pasaje deberán ser diseñadas conforme a la norma UNE-EN 14752, utilizando la versión más actualizada disponible a la firma del contrato.

Las puertas de acceso a viajeros tendrán la siguiente numeración.



Esta numeración deberá ser la utilizada en la red de comunicación del tren.

Cada puerta deberá estar etiquetada. La etiqueta deberá colocarse en una posición visible desde el interior de la sala de pasaje. Tanto el material de la identificación de la puerta, su fijación y posición deberá ser consensuada con FMB en fase de proyecto.

La hoja de la puerta será exteriormente de alto contraste cromático con relación al resto del vehículo. En fase de proyecto FMB deberá definir los colores exactos a implementar.

Las puertas laterales serán del tipo de doble movimiento deslizante encajable de forma que en posición cerrada quedan alineadas con los costados del coche, y en posición abierta quedan superpuestas a los mismos.

El número de puertas en cada uno de los laterales del coche será de cuatro, cada una de ellas con dos hojas y sin montante intermedio.

El Adjudicatario deberá realizar una maqueta con el contorno de la caja para la realización de todas las pruebas tipo indicadas en la norma y las que pudiera indicar FMB en la fase de proyecto el tren.

La distancia entre ejes de puertas será de 4.197mm. Se mantendrá la equidistancia entre ellas a lo largo de toda la composición.

Las dimensiones mínimas del hueco útil de puerta que se ofrecerá para el paso de pasaje, con puertas totalmente abiertas, será de mínimo 1.900 mm de altura por 1.300 mm de anchura a una altura de 1.500 mm, en cualquier caso, el ancho libre de la puerta nunca será menor a 1.200 mm en todo el hueco útil.

El accionamiento se efectuará mediante un motor eléctrico que operará ambas hojas, las cuales estarán sincronizadas para ejecutar simultáneamente las maniobras de apertura y cierre, utilizando los elementos mecánicos de transmisión de movimiento adecuados. Tanto la maniobra de apertura como de cierre estarán exentas de brusquedades, ruidos y estarán amortiguados en el final de su movimiento.

Todas las puertas incluirán un pulsador externo y otro interno para la activación de la apertura que deberá instalarse a una altura comprendida entre 0,80 m y 1,10 m. Este dispositivo debe presentar un alto contraste cromático y sobresalir del paramento, facilitando así su detección por personas con discapacidad visual. Además, sobre el dispositivo deberá figurar en Braille la letra “O”, correspondiente a “Obrir” y “Open”. El pulsador dispondrá de señalización visual cuya funcionalidad se especifica en el apartado correspondiente de este Pliego.

Las puertas deben emitir señales sonoras y luminosas perceptibles tanto desde el exterior como desde el interior del vehículo, con el fin de avisar sobre la apertura y el cierre de las puertas. Se podrán utilizar los sistemas de información al viajero más cercanos a cada puerta para indicar el estado de la misma. La funcionalidad y las características técnicas están especificadas dentro del apartado correspondiente de este pliego.

Cada puerta será controlada individualmente mediante una tarjeta de control electrónica avanzada de última generación. La ubicación y montaje de las tarjetas de control será de fácil acceso para su rápida sustitución (inferior a tres minutos).

El Adjudicatario deberá capacitar a FMB para realizar de forma autónoma la sustitución, diagnóstico, parametrización y verificación funcional de las tarjetas electrónicas de control de puertas. La reparación electrónica interna de dichas tarjetas será exigible salvo que el Adjudicatario justifique documentalmente, de forma motivada y suficiente, que dicha reparación requiere acceso, uso o revelación de información protegida por derechos de propiedad intelectual, propiedad industrial, secretos empresariales, firmware, software propietario o know-how del fabricante o fabricante del equipo original.

La mera declaración genérica de existencia de derechos protegidos no será suficiente. La justificación deberá identificar, al menos, la naturaleza de la limitación alegada, el titular de los derechos, el alcance de las operaciones de reparación afectadas, las razones por las que no pueden ser realizadas por FMB bajo acuerdo de confidencialidad, licencia, formación o procedimiento controlado, y la solución alternativa propuesta.

Cuando dicha reparación interna no pueda autorizarse justificadamente, el Adjudicatario deberá garantizar una solución equivalente de mantenibilidad mediante intercambio, reparación por el fabricante o fabricante del equipo original, suministro de repuestos, stock recomendado, plazos

máximos de reparación o sustitución, soporte técnico, gestión de obsolescencia y disponibilidad de repuestos durante la vida útil contractual del tren.

Las tarjetas electrónicas de control de puertas deberán disponer de autotest y diagnóstico del estado operativo de cada puerta. Las funciones de seguridad asociadas a detección de obstáculos y antidrag deberán justificarse con nivel mínimo SIL 2, salvo que el análisis de seguridad determine un nivel superior. La activación del sistema antidrag deberá generar una demanda segura de inhibición de tracción y/o frenado de emergencia. Si dicha demanda actúa sobre lazos de seguridad de nivel superior, la interfaz deberá diseñarse y justificarse de forma que no degrade el SIL asignado a dichos lazos, sin atribuir a una tarjeta SIL 2 el cumplimiento de una función SIL4 salvo justificación completa de arquitectura y Safety Case.

Cada tarjeta de puerta dispondrá de un contador interno del número de maniobra. Dicho dato será publicado en el sistema informático de tren y será accesible. Deberá registrar cada una de las activaciones del sistema antidrag y se deberá publicar en el sistema informático de tren, de forma que permita analizar cuándo y en qué puerta se ha producido una activación.

Los fallos y eventos de las maniobras de puertas deberán ser registradas en la propia tarjeta de puerta acompañados de fecha y hora de su aparición.

Se deberán poder extraer desde la propia tarjeta mediante conexión segura según la política de Ciberseguridad de FMB y desde el puesto de conducción a través del conector del sistema informático o del sistema tren-tierra que se defina hacia el CCM, en un formato que permita su análisis y tratamiento en hojas de cálculo, bases de datos, etc.

En caso de aparición de alguna incidencia en una tarjeta de mando o en la puerta asociada, se deberá transmitir al sistema informático embarcado, con indicación de la puerta afectada e información del tipo de fallo. El estado de las puertas del tren se podrá consultar a través de la pantalla de monitorización de los puestos de conducción.

El mecanismo de apertura de puertas estará protegido contra el vandalismo, tanto en mecanismos, finales de carrera, guías, cremalleras, etc. Siendo todos estos elementos no visibles y de difícil acceso para el pasaje tanto interior como exteriormente.

Existirá un sistema de estanqueidad en todo el perímetro del hueco y en el contacto de las dos hojas, que impida la entrada de agua y suciedad, incluso durante las operaciones de lavado a presión, del exterior de la caja.

Se deberán realizar las pruebas de estanqueidad de puertas, pulsadores y manetas bajo un arco según norma EN 14752, última versión.

El conjunto de las hojas y su mecanismo deberá estar fabricado con material para prevenir cualquier tipo de oxidación. En caso necesario, deberán incorporar un sistema de drenaje para evitar la acumulación de líquidos.

Cada hoja de puerta estará equipada con una luna cuya disposición, dimensiones y diseño serán acordes con el resto del coche e intentando maximizar el tamaño de esta, en cualquier caso, el tamaño mínimo de la luna será de 1.080 x 400 mm. Estas lunas deberán cumplir con las especificaciones establecidas en la norma UNE-EN 14752. Tanto la luna de la hoja como las hojas, tanto por la parte interior como exterior, deberán estar recubiertas con vinilo antivandálico, que deberá ser validado por FMB en fase de proyectos. La superficie interior y exterior de las puertas será lisa sin discontinuidades, excepto en la zona de la luna de la ventana, y entre ambas, se dispondrá aparte de los elementos estructurales necesarios con el aislamiento adecuado.

Las juntas de goma de las hojas serán fácilmente sustituibles pudiéndose sustituir únicamente la goma central y sin necesidad de desmontar la hoja. Las gomas poseerán la elasticidad suficiente para no dañar en las maniobras de apertura y cierre al pasaje.

Se podrá realizar el ajuste y nivelado de las hojas sin la necesidad de desmontarlas del coche. Todas las puertas de la unidad dispondrán de un sistema de desbloqueo interior y exterior, que permita su accionamiento en situaciones de emergencia según lo indicado en la norma EN 14752.

Se instalarán estribos laterales fijos que tendrán por objeto facilitar el acceso/descenso en las estaciones. Irán fijados a la caja de forma tal que puedan desmontarse. Serán con extremos redondeados, evitando aristas y o elementos cortantes. El diseño del estribo evitará impactos cortantes y atrapamientos. El ángulo de ataque del estribo será de 30 grados y su longitud mínima deberá ser tan que ocupe todo el hueco de puertas. El estribo será de dos piezas, una fija a caja y la otra que será un elemento fusible diseñado para que en caso de interferencia con algún elemento del gálibo se desprenda del tren.

Los estribos laterales deben proporcionar una completa accesibilidad, minimizando el umbral de distancia y altura entre el tren y el andén. Los estribos han de cumplir la norma EN 14752.

El diseño estructural del estribo del tren deberá garantizar que, en condiciones normales de operación, no sufra deformaciones permanentes, desprendimientos ni pérdida de funcionalidad ante contactos ocasionales con dispositivos fijos instalados en el borde del andén destinados a reducir el espacio entre andén y tren (gap fillers).

Estos dispositivos están fabricados en caucho, con características mecánicas específicas que permiten el contacto esporádico con el tren sin deteriorarse. El material móvil deberá estar

diseñado para soportar dicho contacto sin comprometer la integridad del estribo ni de los elementos estructurales adyacentes.

En particular, el diseño del estribo del tren deberá tener en cuenta:

- La resistencia mecánica del gap filler (por ejemplo: caucho natural con dureza mínima de 60 Shore A, resistencia a tracción ≥ 8 MPa, elongación ≥ 350 %).

El Adjudicatario, en fase de proyecto acreditará, mediante simulaciones y ensayos dinámicos si se requiere, que el conjunto estribo resiste dichos contactos sin desprenderse ni causar deterioro estructural, y que la interacción cumple con las condiciones de servicio previstas.

La línea de borde del estribo, ubicada en la zona fusible de cada puerta, estará señalizada en toda su longitud con una franja de material antideslizante y de larga duración, de color contrastado en relación con el resto del suelo y con el color de la puerta, aplicado entre las betas de la pisadera para minimizar desgaste y evitar que se deslamine. Dicha franja deberá estar integrada en el material del estribo de manera que no sufra desgaste prematuro y se desprenda. No se aceptarán materiales tipo bandas pegadas o pintadas. La solución definitiva deberá ser aprobada en fase de proyecto por FMB.

Así mismo, el diseño de los estribos deberá evitar la acumulación de agua y facilitar el desagüe. Los estribos de las puertas deberán estar diseñadas de tal manera que minimicen el escalón para facilitar la estanqueidad y facilitando así la entrada a sillas de ruedas. Dicho diseño deberá ser validado en fase de proyecto por FMB.

El conjunto de la puerta estará diseñado para resistir y operar con los esfuerzos generados durante la operación del tren (carga, aceleración transversal, sobrepresión túnel, etc.).

Todo el conjunto de mecanismo estará montado en una estructura resistente y autoportante la cual se fijará a caja, y permitirá que el montaje y posteriores sustituciones puedan efectuarse sin ajuste alguno.

En el interior del coche y a la altura de los mecanismos de puertas se instalarán trampillas de registro para permitir el mantenimiento de los mecanismos con absoluta facilidad. Dichas trampillas deberán cumplir con los requerimientos de este pliego.

Todo el mecanismo de puertas tanto superior como laterales, deberán estar convenientemente protegidos de manera que el pasaje no pueda actuar sobre él y que este no sea visible.

Dispondrán de detectores de final de carrera de puerta cerrada y enclavada que actuarán sobre el lazo de seguridad de puertas. Emitirán la señal de puerta cerrada, cuando el sistema de

enclavamiento mecánico de seguridad actúe, al objeto de tener la plena seguridad de que la puerta ha quedado cerrada.

En posición cerrada todas las puertas estarán enclavadas mediante un sistema de bloqueo mecánico, el cual se liberará cuando:

- Se den las condiciones establecidas en el proyecto para el proceso de apertura.
- Al accionar el dispositivo de desbloqueo interior de la puerta con el tren completamente parado.
- Al accionar el dispositivo de apertura de emergencia (desde el exterior) bajo cualquier circunstancia.

Cada puerta incorporará un dispositivo de condena o puerta fuera de servicio, situado en un costado de la puerta accesible a una altura inferior de 160 cm, convenientemente disimulado para que no pueda ser manipulable por el pasaje, Para su operación, será necesario el uso de una llave de cuadradillo.

El tren estará dotado de un lazo de seguridad de puertas que reconocerá que todas las puertas están correctamente cerradas y enclavadas.

El lazo de seguridad de puertas, Velocidad 0 km/h, selección de lado de puertas, autorización de apertura y cierre deberá ser implantado mediante líneas hardware cableadas, empleando técnicas fail-safe. En ningún caso el fallo del hardware o software podrá generar situaciones que comprometan la seguridad en la gestión de la apertura y cierre de puertas. Se podrán implementar funciones redundantes de confirmación a través del software del sistema informático embarcado, pero no se aceptará que éstas sustituyan a la línea hardware.

En el software del sistema informático del tren se implementará el reconocimiento individual del estado de apertura o cierre individual de cada puerta del tren, así como cualquier otro estado en que se halle la puerta.

El sistema informático embarcado informará en todo momento cuando se abre el lazo de puertas, determinando la puerta. Esta información podrá ser consultada por medio de la pantalla de monitorización de los puestos de conducción.

2.6.2 Requisitos funcionales

2.6.2.1 Mando de puertas

El sistema permitirá la apertura de todas las puertas de un lado, desde el puesto de conducción.

El mecanismo de puertas de pasaje será del tipo eléctrico alimentado por la batería. Estará controlado por una tarjeta electrónica de mando individual para cada puerta.

Las maniobras de autorización de apertura y cierre de las puertas se podrán efectuar únicamente desde el puesto de conducción con mando del tren.

Los pulsadores de autorización de apertura estarán doblados y será necesario accionarlos simultáneamente para que la orden sea efectiva.

La habilitación del lado de apertura de puertas del tren con el sistema ATP activo se realizará de forma automática.

Al accionar el cierre se apagarán las flechas de indicación del lado de apertura.

Existirá un pulsador en el pupitre que al ser accionado permita la apertura de todas las puertas del lado seleccionado del tren, sin necesidad de que el pasaje accione el elemento que activa la apertura de cada puerta.

Se dispondrá de un bypass de puertas (anulación manual), destinado a ser activado por el personal a la conducción en situaciones excepcionales, que permita aplicar tracción aun cuando no todas las puertas estén cerradas y bloqueadas. La activación del bypass deberá quedar señalizada en cabina y su uso se considerará modo degradado.

Cualquier accionamiento de un dispositivo que intervenga en la apertura-cierre de puertas y/o bypass, será registrado por el registrador de eventos del tren.

2.6.2.2 Detección de obstáculos

Las puertas estarán equipadas con un sistema de detección de obstáculos al cierre y a la apertura. Este sistema de detección de obstáculos deberá cumplir con los requisitos de la norma UNE-EN 14752 en su versión más reciente.

En caso de detección de un obstáculo durante el proceso de cierre, ambas hojas realizarán reaperturas de 100 mm en dirección a apertura desde el punto de detección. El número de reaperturas y la amplitud de apertura de las hojas serán parámetros configurables por el personal de FMB, sin necesidad de modificación alguna del software.

Después del número de rebotes determinado en la fase de proyecto (inicialmente de ocho intentos de cierre) con un segundo de espera entre el cuarto y el quinto rebote, las hojas permanecerán 100 mm abiertas, manteniéndose en esa posición de apertura de manera indefinida, durante la cual el motor no ejercerá par alguno.

En caso de detección de un obstáculo, esta situación será indicada en el pupitre de conducción mientras persista la anomalía. Cuando la puerta queda abierta tras el último rebote, se mostrará la imagen de la cámara más cercana a la puerta con el atrapamiento en la pantalla de visualización de CCTV.

La fuerza de cierre de la puerta deberá cumplir con lo indicado en la norma UNE-EN 14752 en su versión más reciente durante la fase de proyecto.

Los tiempos de actuación máximos para una maniobra completa de abrir y cerrar, serán de 6 segundos como máximo.

2.6.2.3 Detección de obstáculos por borde sensible (antidrag)

Las puertas incorporarán la función de seguridad “antidrag” según norma EN 14752, utilizando la versión más actualizada disponible a la firma del contrato. La detección antidrag deberá cubrir tanto el lado interior del tren como el lado exterior/andén de la puerta, en las zonas accesibles de riesgo de arrastre, sin depender de la hoja afectada, del lado de apertura ni del sentido de marcha.

El sistema antidrag deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- El sistema antidrag solo se activará a puerta cerrada y enclavada.
- El sistema antidrag tendrá tanto detección estática como dinámica.
- En caso de detección de antidrag a tren parado se abrirá el lazo de tracción. Señalizará en cabina la puerta detectada, se activará la cámara más cercana y se activará la comunicación cabina-pasaje del intercomunicador más cercano a la puerta. En caso de retirada del objeto (antidrag no activo), el sistema se deberá reponer de forma automática cerrando el lazo de tracción.
- Durante el movimiento, el sistema antidrag estará activo durante los primeros 100 metros desde el inicio de la marcha del tren, En caso de activación dentro de los primeros 100 metros, el tren aplicará frenado de emergencia. La puerta con la detección activa será señalizada en las pantallas de la cabina de conducción y se activarán las cámaras más cercanas. Se deberá reconocer la alarma antidrag para continuar la marcha, sin tener que inhibir o anular el sistema antidrag.
- El sistema antidrag solo estará activo en aquellas puertas que se hayan abierto y cerrado. Si en una estación una puerta no se ha abierto el sistema permanecerá inactivo.

- En las cabinas de conducción, se deberá disponer de un sistema de inhibición de la función antidrag independiente del by-pass de puertas. En caso de activación del sistema antidrag en una puerta, la función de inhibición permite anular dicha activación en esa puerta específica. El sistema permanecerá inactivo hasta que la puerta sea abierta nuevamente. A su vez, deberá ser posible anular el sistema antidrag.
- Se dispondrá de un sistema de bypass del sistema antidrag que anulará el sistema en caso de fallo de este.

El sistema de seguridad antidrag y su funcionalidad deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

2.6.2.4 Comportamiento ante detección de puerta abierta

Las puertas no podrán abrirse ni desbloquearse desde el interior del tren, ni aun forzándolas mediante el accionamiento del desbloqueo de puertas, cuando la velocidad sea diferente a 0 km/h.

Deberá existir una segunda verificación de la concordancia de las señales para evitar la apertura de la/s puerta/s sin autorización y permisión, además de la velocidad cero.

Se establecerá un criterio de seguridad fail-safe de forma que ningún tipo de avería mecánica, eléctrica o de software pueda provocar que las puertas se abran de forma intempestiva.

La señal acústica de cierre de puertas deberá estar acompañada, tanto interior como exteriormente, mediante una señalización visual.

Siempre que en un coche haya una puerta abierta:

- Se cortará la tracción en todo el tren y se aplicará freno de emergencia
- Siempre que se detecta puerta abierta con velocidad deberá haber orden de cierre forzando el cierre de la puerta. En caso de no confirmación de cierre, el motor seguirá apretando para asegurar el cierre de las hojas.
- Se indicará el coche donde se encuentra la puerta abierta, activando la iluminación del piloto blanco lateral, situado en el exterior del coche y correspondiente coche y lado donde está la puerta abierta.
- A través del sistema de monitorización se podrá localizar la puerta abierta, con indicación del estado individual de ambas hojas.

2.6.2.5 Sistemas de desbloqueo

Todas las puertas de la unidad dispondrán de un sistema de desbloqueo desde el interior y exterior, que permita su accionamiento en situaciones de emergencia según lo indicado en la norma EN 14752. Si el sistema de desbloqueo precisa de sirgas para su accionamiento, deberán ser de baja fricción. El esfuerzo para la apertura manual de las puertas desbloqueadas será el indicado en la norma EN 14752.

En caso de corte de la energía de los mandos de puertas, el mecanismo de bloqueo mantendrá las puertas cerradas y bloqueadas hasta que se actúe sobre el dispositivo de desbloqueo de puertas correspondiente. El desbloqueo de emergencia desde el interior y exterior previsto deberá ser operable sin alimentación eléctrica.

Sistema de desbloqueo interior EED

- Se situará en un costado de la puerta, durante el desarrollo del proyecto FMB aprobará las propuestas presentadas por el Adjudicatario en cuanto a la ubicación del dispositivo.
- El dispositivo será de color verde y diseñado acorde a la norma UNE-EN 14752 en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato
- Cuando el tren esté en movimiento, el sistema de desbloqueo de puertas no permitirá actuar el desbloqueo o este se rearmará automáticamente. Deberá asegurarse que la apertura pueda producirse, aunque sea manualmente, frente a cualquier avería o accidente, con la condición de que para su desbloqueo el tren esté completamente parado, siendo rearmable desde el puesto de conducción, desde el CCM o localmente desde la propia puerta.
 - Al activar la palanca de desbloqueo de puertas, cuando el tren esté detenido, el pulsador de puertas se iluminará de forma que, al ser accionado, la puerta se abrirá, y también será posible forzar la apertura manualmente sin que el motor de puerta ejerza esfuerzo de cierre. No será posible abrir una puerta, si la palanca es accionada con el tren en movimiento. El rearme de las palancas comportará el cierre de la puerta, y se efectuará: En líneas con conducción automática y cuando las comunicaciones tren-tierra estén plenamente operativas se deberá prever la existencia de un telemando para la reposición de las palancas accionadas. Con personal de conducción desde el puesto de conducción. Con llave de cuadradillo desde la propia puerta.

- Al accionar una palanca de desbloqueo/apertura de emergencia se deberá informar al puesto de conducción identificando la puerta, mediante señal visual y acústica.

Sistema de desbloqueo Exterior [EAD]

Se dotará a todas las puertas de un sistema de apertura de emergencia exterior que cumplirá con lo establecido en la norma EN 14752.

- Accionable desde el exterior tanto desde nivel de vía como desde nivel de andén.
- Cuando se accione el dispositivo, la puerta deberá poder abrir en cualquier circunstancia [tren parado / tren con movimiento].
- Dicho sistema será mecánico/eléctrico y estará dentro de lazo de puertas.
- El dispositivo, una vez accionado, se rearmará de forma automática.
- Al activar la palanca, la puerta se desbloqueará, permitiendo su apertura manual sin que el motor de la puerta ejerza esfuerzo de cierre. Además, se iluminará el pulsador de la puerta, de modo que, al ser accionado, la puerta se abrirá.
- Con el tren apagado, en caso de que se produzca la apertura de una puerta utilizando el mando de desbloqueo exterior, al poner en marcha el tren desde la cabina de conducción, se deberá indicar que la puerta está abierta. Se podrán cerrar las puertas desbloqueadas desde cabina sin actuación local en la puerta.
- El sistema de desbloqueo de puerta se señalizará mediante una señal fotoluminiscente indicando la información necesaria para el desbloqueo de la puerta.

2.6.2.6 Dispositivo de condena

En caso de que sea preciso anular una puerta, esta deberá ser bloqueada mecánica y eléctricamente, impidiendo así su apertura. La anulación eléctrica de la puerta será posible únicamente cuando esta se encuentre cerrada, esta anulación se podrá realizar de forma remota desde cabina y CCM. Al ser activada se señalizará en la propia puerta una indicación de 'puerta fuera de servicio' (a definir en la fase de proyecto). Tras la condena mecánica de la puerta, el tren debe seguir monitorizando el estado de las hojas y actuar como el resto de puertas en caso de detectar puerta abierta. se informará al puesto de conducción identificando la puerta.

2.6.2.7 Indicadores luminosos de puertas

El tren dispondrá de un indicador luminoso situado en el dintel de cada puerta en el interior del vehículo:

Características técnicas

- En el interior del vehículo, en el dintel de cada puerta de acceso a pasajeros, se instalará una iluminación tipo led.
- El indicador ocupará el máximo de superficie del dintel. Estará integrado y enrasado.
- Estará protegido con medidas antivandálicas.
- Cambiará de color según el estado de la puerta.
- Deberá ser visible desde cualquier punto del interior del coche y proyectará la luz hacia el exterior siendo visible desde la zona de andenes.
- Deberá ser reemplazable en un tiempo inferior a 10 minutos.

Requisitos funcionales

- **Puerta habilitada:** la iluminación del dintel se encenderá permanentemente en verde.
- **Durante la apertura de la puerta:** la iluminación del dintel se encenderá en verde intermitentemente, hasta la apertura completa de la puerta, luego lucirá en verde permanente mientras la puerta continúe con habilitación.
- **Durante la orden de cierre (avisador acústico):** la iluminación del dintel se encenderá en Rojo intermitente durante el aviso acústico de cierre de puertas.
- **Durante el cierre:** el indicador luminoso del dintel de la puerta continuará luciendo en Rojo intermitente hasta el cierre completo de la puerta, se iluminará con el mismo color que el resto de la iluminación interior ordinaria.

- El indicador luminoso se encenderá permanentemente en Rojo en las siguientes condiciones:
 - Puerta condenada (por medio de llave de cuadradillo).
 - Puerta aislada (por medio de la electrónica de la puerta).
- El indicador luminoso se enciende en Rojo intermitente en las siguientes condiciones:
 - Detección de atrapamiento (por medio del antidrag).
 - Activación del mando de desbloqueo exterior o interior.

Características técnicas

- La señalización visual de los pulsadores debe cumplir con todos los requisitos del apartado referente a las señales visuales de los botones de la puerta según la norma UNE-EN 14752 más actual en el momento de diseño del proyecto.
- La iluminación verde de los pulsadores exteriores de puerta tendrá una intensidad luminosa no superior a 100 cd.

Requisitos funcionales

- **Puerta habilitada:** los indicadores luminosos, tanto interiores como exteriores, se encenderán permanentemente en verde.
- **Durante la apertura:** los indicadores luminosos, tanto interiores como exteriores, se encenderán intermitentemente en verde hasta que apertura completa de puerta, luego se quedarán iluminados permanentemente en verde mientras la puerta tiene habilitación.
- **Durante la orden de cierre (avisador acústico):** los indicadores luminosos, interior y exterior se encenderán intermitentemente en rojo.
- **Durante el cierre:** los indicadores luminosos, interior y exterior, continuarán encendidos intermitentemente en rojo, hasta el cierre completo de la puerta, y luego se apagarán.
- Los indicadores luminosos del pulsador, interior y exterior se encenderán permanentemente en rojo en las siguientes condiciones:

- Puerta condenada (por medio del cuadradillo de condena).
- Puerta aislada (por medio de la pantalla de conducción).
- Los indicadores luminosos del pulsador, interior y exterior se encenderán intermitentemente en rojo en las siguientes condiciones:
 - Detección de atrapamiento (por medio del antidrag).
 - Desbloqueo de la puerta mediante mando desbloqueo interior o exterior.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar una propuesta de la funcionalidad y tipo de iluminación que deberá ser validada por FMB,

2.6.2.8 Sonería de mandos y puertas

- **Habilitación + Permiso de puertas.** Con la orden de habilitación/permiso de puertas (por parte del personal de conducción), la megafonía del tren emitirá un sonido (dentro de sala y en el exterior), para indicar puertas habilitadas. La duración (entre 1 y 2 segundos) y el tono de aviso será definido por FMB. Desde la habilitación y la apertura de las puertas no se podrá lanzar la sonería de cierre de puertas (ni cerrar puertas) hasta que no hayan pasado 4 segundos desde la apertura de estas. Este tiempo será fácilmente configurable por FMB en taller en una ventana de 1 segundo hasta 60 segundos.
- **Sonería de cierre de puertas.** El nivel sonoro debe ser regulable y se debe poder ajustar por medios propios. El aviso acústico se emitirá a través de la megafonía del tren tanto en el interior como en el exterior del tren.
- **Sonería y Orden de cierre de puertas.** La orden de cierre de puertas deberá estar precedida por una señal acústica. En las cabinas de conducción se instalará un pulsador que activará dicha señal. Durante los primeros dos segundos desde el inicio de la alerta sonora, cualquier orden de cierre de puertas no tendrá efecto alguno. Transcurridos estos dos segundos, una orden de cierre de las puertas emitida dentro de un intervalo que se determinará en la fase de proyecto iniciará el cierre de las puertas. La señal acústica deberá mantenerse activa hasta que todas las puertas estén completamente cerradas, momento en el cual cesará. En caso de rebote de una puerta por la circunstancia que sea, la sonería de puertas seguirá activa de forma local únicamente en el coche afectado.

En caso de que no se emita una orden de cierre dentro del intervalo permitido para el cierre de las puertas, el personal de conducción deberá solicitar, mediante el pulsador de señal acústica, una nueva alerta sonora, iniciando así un nuevo ciclo de cierre.

Todas las alertas sonoras deberán cumplir con todos los requisitos de característica, frecuencia y nivel de presión sonora establecidos en la norma UNE-EN 14752 en su versión más actualizada disponible a la firma del contrato.

La duración y el nivel de presión sonora de toda la sonería de puertas indicada en este apartado serán fácilmente ajustables y configurables por personal de FMB en el taller.

2.7 EQUIPO DE FRENO NEUMÁTICO (F)

Tanto el mando como el equipo de freno seguirá el criterio fail-safe. El tren no incorporará frenos independientes de la adherencia rueda-carril.

El Adjudicatario caracterizará los supuestos para todos los estados de carga en operación, de acuerdo con EN 13452.

Las prestaciones contractuales nominales de frenado se verificarán tomando como referencia la velocidad máxima nominal de servicio de 80 km/h, conforme a lo definido en el presente pliego.

Adicionalmente, el Adjudicatario deberá justificar durante la fase de Ingeniería del proyecto, mediante cálculo, que el sistema de freno de emergencia, el sistema antibloqueo, los captadores de velocidad y los elementos disipadores de energía del freno mantienen su funcionalidad y no sufren deterioro ni pérdida de seguridad ante el escenario excepcional de sobre velocidad a 90 km/h, considerando la aplicación automática del freno de emergencia hasta la detención completa del tren.

Dicha justificación incluirá, como mínimo, la distancia de parada, el perfil de deceleración, la adherencia rueda-carril requerida, el comportamiento del sistema antibloqueo y la capacidad térmica de los elementos de fricción y disipación afectados, considerando la condición de carga de frenado máxima y, cuando proceda, la pérdida total del freno eléctrico como caso degradado más desfavorable.

La verificación anterior no modificará la velocidad máxima nominal de servicio del tren ni las prestaciones contractuales exigidas a 80 km/h, sino que tendrá por objeto demostrar la seguridad y robustez del sistema de frenado frente al escenario de sobre velocidad definido en el presente pliego.

Los elementos que forman parte del equipo de freno neumático estarán preparados para sustituir total o parcialmente, de forma automática, el freno eléctrico, en el supuesto de avería del mismo y de manera que se mantengan los mismos valores de deceleración.

La maniobra de frenado o desfrenado será rápida y simultánea en todo el tren. En fase de proyecto se especificarán los tiempos de respuesta equivalente con freno de servicio y con freno de emergencia, calculados según indica la EN 13452-1. Los valores deben respetar los requisitos aplicables de la EN 13452-1 en función del tipo de material rodante.

En caso de orden de freno de emergencia, el sistema de freno deberá cumplir, como mínimo, los criterios de tiempo de respuesta equivalente y tiempo de retardo establecidos en la normativa ferroviaria aplicable. Adicionalmente, por tratarse de una explotación metropolitana con

distancias cortas entre estaciones, el Adjudicatario deberá justificar y garantizar valores compatibles con prestaciones de metro, tomando como referencia los siguientes límites máximos: tiempo equivalente de freno de emergencia $t_e \leq 1,5$ s y tiempo de establecimiento al 90% de la deceleración/presión objetivo $t_{90} \leq 2$ s, evaluados en AW0 y AW3 a las velocidades representativas de ensayo.

Los valores deberán verificarse mediante ensayo conforme a EN 13452-2 o norma equivalente aplicable.

La presión de los cilindros de freno variará automáticamente con la carga del vehículo.

Los principales aparatos deberán poder retirarse sin necesidad de tener que vaciar la instalación de aire, para lo cual se colocarán grifos que los aislen del resto del circuito.

Los presostatos serán regulables y no deberán requerir ajuste de tarado alguno, una vez efectuada la primera regulación. Tendrán estanqueidad interna y externa IP65. El presostato de mínima será de doble contacto en paralelo y de seguridad.

El equipo de freno neumático deberá cumplir con los requisitos aplicables, en función del tipo de material rodante, de la norma EN 13452-1. Los ensayos para la validación del sistema de freno se realizarán conforme a la EN 13452-2.

Se dispondrá de una llave de aislamiento del freno neumático de servicio por coche, en los casos que por avería no pudiese efectuarlo la unidad de freno. Las llaves serán accesibles en sala de pasaje, sin necesidad de tener que bajar a la vía. La actuación sobre ellas será monitorizada.

Se podrá anular el paso de aire entre coches. Las llaves serán accesibles en sala de pasaje sin necesidad de tener que bajar a la vía. La actuación sobre ellas será monitorizada por el sistema informático y necesitará de una confirmación en pantalla de conducción por parte del personal de conducción.

2.7.1 Equipo de control del freno neumático

Con objeto de garantizar la disponibilidad del freno neumático del coche, el equipo de control de dicho freno dispondrá de las informaciones que sean necesarias para conocer el estado de los distintos elementos del equipo neumático, así como de las medidas de presión del circuito neumático que también sean necesarias.

Con el tren parado, el personal a la conducción deberá poder comprobar desde el interior del tren:

- (i) la continuidad de la línea/lazo de mando-control del freno (lazo de freno/emergencia, según aplique),
- (ii) la disponibilidad del suministro de energía de frenado (aire/freno neumático y elementos asociados),
- (iii) el estado del freno principal y del freno de estacionamiento, incluyendo el estado de las partes que puedan controlarse y/o aislarse de forma independiente. Estas comprobaciones se realizarán mediante el autodiagnóstico y su visualización en la pantalla de conducción y, cuando aplique, mediante indicaciones/señalizaciones accesibles desde el exterior.

En circulación, desde el puesto de conducción se visualizará el estado de la línea/lazo de mando-control del freno y la disponibilidad del suministro de energía de frenado, mediante la pantalla de monitorización.

La información de estado/diagnóstico del sistema de freno se presentará en el sistema de monitorización en cabina (control centralizado). El Adjudicatario realizará un estudio de fiabilidad del sistema de control centralizado (modos de fallo, redundancias y comprobaciones periódicas) y definirá sus condiciones de explotación, incluyéndolas en el manual de conducción.

El frenado eléctrico será prioritario hasta la mínima velocidad posible, proporcionando la totalidad del esfuerzo necesario para lograr las prestaciones requeridas para el freno de servicio. El freno neumático se concibe como un complemento de este, que se aplicará a bajas velocidades, o en caso de fallo del frenado eléctrico.

El freno neumático se aplicará a la menor velocidad posible. En fase de proyecto y 6 meses posteriores a la firma del contrato se entregará un estudio donde demuestre la velocidad a la que inicia la aplicación del freno neumático en condiciones normales de operación.

El sistema de frenado del tren deberá priorizar en todo momento el uso del freno eléctrico (regenerativo o reostático), de manera que el freno neumático solo entrará en funcionamiento cuando la velocidad del tren sea inferior a 5 km/h o cuando el freno eléctrico no esté disponible. Esta transición deberá gestionarse de forma suave y automática para garantizar el confort del pasaje y la eficiencia energética.

El blending entre el freno eléctrico y el freno neumático se debe efectuar de forma que, a lo largo de una frenada desde máxima velocidad, no se generen oscilaciones en la deceleración del tren superiores a $\pm 0,10 \text{ m/s}^2$. El blending necesario será el mínimo, entre freno eléctrico y neumático, que asegure siempre una deceleración uniforme idéntica a la demandada desde el manipulador

o por el ATO para todas las condiciones de carga. Deberá definirse durante el desarrollo del proyecto la transición entre freno puramente eléctrico y freno neumático a bajas velocidades.

En caso de fallo del freno de servicio de un coche, el sistema debe ser capaz de distribuir el esfuerzo de frenado entre el resto de la composición, sin afectar al servicio y respetando los niveles de seguridad.

En caso de pérdida total o parcial del freno electrodinámico, el sistema de freno neumático/de fricción deberá estar dimensionado y controlado para garantizar la detención segura del tren en las peores condiciones de carga previstas, incluyendo la aplicación del frenado de emergencia en el punto más desfavorable de la línea.

En caso de pérdida total del freno electrodinámico, podrán establecerse condiciones de operación degradada (p. ej. limitación de velocidad y/o de régimen de servicio) con el fin de preservar la integridad térmica del freno de fricción, siempre que dichas condiciones queden definidas y no comprometan la seguridad ni la capacidad de retención exigida en rampa. En cualquier caso, el diseño del sistema de freno de fricción deberá permitir la operación del tren durante el tiempo necesario para completar el trayecto en curso o alcanzar una estación de evacuación, sin provocar daños permanentes ni degradación significativa de sus elementos.

En caso de interrupción del suministro de energía de frenado o de avería de la alimentación eléctrica, deberá ser posible detener y mantener inmovilizada una unidad en condición de carga de frenado máxima en una pendiente del 40‰, durante al menos 2 horas, aplicando únicamente el freno de fricción del sistema principal. En fase de proyecto se aportará el cálculo justificativo y su verificación en pruebas tipo/validación. Este requisito se entenderá sin perjuicio de las condiciones más restrictivas exigidas para el freno de estacionamiento en el apartado correspondiente del presente pliego.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá demostrar mediante cálculos y ensayos que el equipo de freno de fricción dispone de capacidad térmica suficiente para garantizar esta funcionalidad, y que el rendimiento del sistema neumático no comprometerá la seguridad ni la movilidad del tren en estas condiciones.

El diseño del equipo de control de freno neumático, así como su interconexión con los elementos encargados de garantizar el freno del tren, se efectuará con criterio fail-safe de modo que en ningún caso se debe comprometer la seguridad del vehículo.

El equipo de control del freno neumático deberá ordenar la apertura del lazo de emergencia cuando detecte una situación que pueda afectar a la seguridad del vehículo. La apertura del lazo

de emergencia constituirá la orden de freno de emergencia a lo largo del tren y comportará el corte de tracción.

El freno de emergencia se garantizará mediante el freno de fricción del sistema principal, sin contribución del freno eléctrico/electrodinámico a las prestaciones del freno de emergencia.

La existencia de fallo en el equipo de freno neumático de cualquier coche o bogie implicará la apertura del lazo de emergencia, por lo que deberá ser posible la anulación del freno en el coche y/o del bogie afectado, sin necesidad de tener que anular el lazo de emergencia de todo el tren. Dicha solución deberá ser validada por FMB.

El equipo de control de freno neumático estará conectado al bus del sistema informático para intercambiar las informaciones y órdenes de mando, a tal efecto, el Adjudicatario justificará la necesidad de implementar líneas hardware, para transmitir aquellas órdenes que considere que deban ser externas al bus del sistema informático.

El software de equipo de control de freno neumático debe ser desarrollado, depurado y validado mediante procedimientos que garanticen la seguridad de funcionamiento con auto detección de defectos y errores.

La concepción de diseño del sistema de mando de freno neumático garantizará la redundancia real, de modo que el fallo de cualquier elemento debe ser transparente para el funcionamiento del sistema y deberá ir acompañado de la correspondiente señalización local en puesto de conducción y de forma remota al CCM.

Los equipos de control de freno neumático incorporarán auto diagnóstico de fallos, averías y eventos para determinar su estado operacional:

- Operativo.
- Incidencia que no afecta al servicio.
- Modo degradado con reducción de prestaciones.
- Fuera de servicio.

El propio equipo diagnosticará el origen de la anomalía y la acotará de la forma más precisa posible. El resultado de los autodiagnósticos será transmitido al bus del sistema informático, pudiéndose visualizar en la pantalla de monitorización. Se entenderá también como anomalía la pérdida de redundancia.

Mediante el menú de monitorización se consultará el estado de los equipos de freno neumático, mediante la visualización de los parámetros internos analógicos y digitales que informen de su funcionamiento. Para ello, el fabricante del equipo de control del freno neumático deberá adaptarse al protocolo de comunicaciones que vendrá establecido por el sistema de monitorización seleccionado. Basándose en este protocolo, en la fase de proyecto, el Adjudicatario someterá a la aprobación de FMB las características de la información mostrada a través de la monitorización.

Se dotará al equipo de control del freno neumático de un sistema de registro histórico de fallos y eventos, datados en tiempo real, que estarán acompañados del contexto asociado a cada tipo de evento o fallo. Este contexto consistirá en el registro del valor de las señales analógicas y el estado de las señales digitales relevantes, asociadas a cada tipo de evento.

El Adjudicatario garantizará que el volcado del histórico de incidencias, o fallos del equipo de control del freno neumático, pueda efectuarse:

1. En modo local a un Ordenador Portátil a través del bus del sistema informático, y directamente del propio equipo de freno.
2. De forma remota hacia el CCM a través del canal de comunicaciones que en su momento se determine. A tal efecto se proporcionará el software necesario para poder interpretar dicho histórico, debiendo ser sometido a la aprobación de FMB el formato de presentación de éstos.

También se proporcionará un programa monitor que, a través de un Ordenador Portátil conectado al propio equipo de control del freno neumático, así como a la red Ethernet del tren, proporcione a tiempo real los parámetros de funcionamiento del equipo necesarios para su mantenimiento preventivo y correctivo.

2.7.2 Antibloqueo o antipatinaje

El tren estará dotado de un sistema de protección contra el bloqueo de ruedas durante frenado neumático, conforme al concepto WSP (Wheel Slide Protection) definido en la norma EN 15595.

Este sistema deberá actuar sobre el sistema de freno neumático con el objetivo de maximizar la adherencia rueda-carril en condiciones de baja fricción o vía contaminada.

El sistema antibloqueo del freno neumático deberá:

- Detectar y corregir en tiempo real situaciones de bloqueo o inminente deslizamiento de uno o más ejes durante el frenado neumático.

- Actuar de forma individualizada por eje o bogie, utilizando captadores de velocidad dedicados por eje.
- Estar operativo en toda la gama de velocidades del tren, desde 3 km/h hasta 90 km/h, y ser especialmente eficaz:
 - En velocidades bajas (zona crítica de bloqueo),
 - En frenadas de emergencia,
 - Durante la transición de freno eléctrico a neumático.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá aportar la documentación técnica que acredite la funcionalidad del sistema, incluyendo:

- Tiempos de respuesta del sistema antibloqueo, obtenidos en condiciones representativas (por ejemplo, bloqueo simultáneo de los 4 ejes de un coche).
- La estrategia de control antibloqueo, detallando:
 - Lógica de actuación,
 - Umbrales de disparo y reacondicionamiento,
 - Priorización de actuación en caso de conflictos entre ejes o bogies.

El sistema deberá demostrar su eficacia especialmente en situaciones de baja adherencia.

El sistema de antibloqueo neumático deberá incorporar una función de autodiagnóstico de tipo fail-safe, capaz de detectar y clasificar su estado operativo en los siguientes niveles:

- Operativo normal,
- Incidencia sin afectación al servicio,
- Modo degradado (con reducción de prestaciones),
- Fuera de servicio (con notificación al sistema central del tren).

Adicionalmente, deberá contar con:

- Registro histórico de fallos y eventos, incluyendo la hora y variables asociadas (presiones, velocidades, estados).

- Herramienta de monitorización técnica, accesible mediante:
 - Conexión directa desde terminal de mantenimiento,
 - O desde el sistema informático del tren.
- Visualización en cabina del estado del sistema WSP neumático y sus alertas a través del sistema de supervisión.
- Interfaz de comunicaciones compatible con el protocolo de red del tren, integrando las señales necesarias para mantenimiento y explotación.

2.7.3 Freno de estacionamiento

Las prestaciones del freno de estacionamiento se calcularán conforme a EN 14531-1, determinando el gradiente máximo en el que el tren se mantiene inmovilizado únicamente mediante dicho freno, para las condiciones de carga aplicables y los escenarios degradados definidos.

El cálculo deberá justificar las hipótesis consideradas, incluyendo masa/carga, pendiente, diámetro de rueda, equipos o ejes fuera de servicio, coeficientes de fricción, adherencia rueda-carril considerada, márgenes de seguridad y condiciones ambientales relevantes.

En fase de proyecto, el Adjudicatario entregará a FMB los cálculos justificativos y se indicará en la documentación técnica del tren el gradiente máximo resultante de inmovilización. No se admitirán hipótesis de adherencia rueda-carril optimistas o no justificadas; los valores adoptados deberán estar técnicamente justificados y ser aceptados por FMB.

El freno de estacionamiento del tren podrá mantener el coche parado con carga excepcional de pasaje (AW4) en una rampa del 4,5% de pendiente y un 25% de cilindros fuera de servicio. En fase de proyecto se presentará el cálculo justificativo. Este requisito tendrá la consideración de requisito contractual específico de FMB para el freno de estacionamiento y prevalecerá, a efectos de verificación contractual, sobre cualquier otro requisito de inmovilización menos restrictivo definido en el presente pliego o en las normas aplicables.

Con freno de estacionamiento aplicado y en condiciones normales, el tren no podrá traccionar. Se preverá algún sistema para que, ante una falsa señalización, o ante una avería real, se pueda traccionar mediante anulación lazo de tracción, etc.

Se informará del estado del freno de estacionamiento en los puestos de conducción mediante la pantalla del sistema de monitorización y control. La aplicación del freno de estacionamiento será automática cuando disminuya la presión de la TDP y por ausencia de alimentación eléctrica.

El mando local se realizará por medio de un pulsador de conexión y uno de desconexión, situados en el puesto de conducción. Para que la conexión se haga efectiva y se vacíen los cilindros de freno de estacionamiento, será preciso que el selector de marchas y el manipulador marcha-freno estén a cero y el tren parado.

El freno de estacionamiento sólo podrá ser controlado desde el puesto de conducción con llave de gobierno conectada: la puesta a cero de la llave de gobierno implicará una conexión automática del freno de estacionamiento.

Para retirar el freno de estacionamiento se requerirá que exista llave de gobierno conectada en el puesto de conducción que se accione, y tener el selector de marcha en una posición distinta de cero.

Se dispondrá de un sistema que permita desalojar el aire de los cilindros de freno en los casos que por avería del freno de estacionamiento no pudiese efectuarlo la unidad de freno. Dicho sistema podrá ser actuado a distancia desde cabina. El sistema también permitirá ser actuado manualmente y será accesible desde la sala de pasaje, sin necesidad de tener que bajar a la vía. La actuación sobre ellas será monitorizada por el sistema informático y necesitará de una confirmación en pantalla de conducción por parte del personal de conducción. Además, se dispondrá de un utillaje de accionamiento mecánico para el desbloqueo del freno de estacionamiento desde el interior de cada coche. Este sistema deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- El dispositivo deberá permitir su accionamiento desde dos posiciones:
 - Desde el interior de la caja de pasaje, en posición erguida, sin necesidad de inclinarse.
 - Desde el nivel de vía, facilitando su manipulación en caso de intervención exterior.
- El sistema deberá instalarse en cabinas de los coches MA1 y MA2.
- Los armarios donde se aloje el mecanismo deberán incorporar señalización clara y visible desde el exterior que identifique su función.
- En la parte interior de dichos armarios se deberán incorporar instrucciones claras sobre el procedimiento de accionamiento, así como sobre la correcta posición corporal del operario durante su uso.

Cuando el freno de estacionamiento de uno o más ejes estén anulados, se informará de esta situación a los puestos de conducción, mediante la pantalla del sistema informático. Así como, cuando el freno esté aplicado en algún eje.

Ante un aislamiento de freno de estacionamiento por parte del personal de conducción, este debe poder reconocer el aviso que ha accionado las sirgas de aislamiento de ambos bogies para permitir traccionar el tren.

Cuando el tren esté en GOA4 sin personal de conducción, será el ATC el encargado de gestionar la aplicación o liberación del freno de estacionamiento. En GOA4 desde el CCM se podrá ordenar la conexión y desconexión del freno de estacionamiento de un tren, mediante orden lanzada por el operador desde el CCM a través del canal de comunicaciones bidireccional tren-tierra que en su momento se determine. Desde el tren se enviará la información del estado de conexión o desconexión del freno de estacionamiento de todos los ejes del tren.

2.7.4 Freno de retención

Se dotará al tren de freno de retención, para evitar el desplazamiento del tren cuando se retira el freno de estacionamiento y se ordena tracción.

El freno de retención se aplicará de forma automática al detenerse el tren.

Existirá un pulsador dedicado situado en el puesto de conducción, cuya única función será poder anular la aplicación del freno de retención, mientras se mantenga accionado.

El freno de retención evitará el movimiento del tren, incluso en condiciones de pendiente máxima de la línea y con carga máxima, aplicando la presión necesaria en los cilindros de freno. En estas condiciones, si se ordena traccionar, se moderará de forma automática la presión aplicada para permitir el giro de los ejes de los coches motores, evitando movimientos intempestivos, dicha presión deberá disminuir de forma gradual y proporcional al par motor disponible en el conjunto del tren, hasta alcanzar los 5 km/h.

Se deberá prever cómo realizar la anulación de la retención automática en caso de fallo.

2.8 EQUIPO DE TRACCIÓN (G)

2.8.1 Requisitos generales del equipo de tracción

Cada conjunto de tren constará de 4 unidades de tracción, iguales y formadas una por los coches MA1 y MB1 y la otra por los coches MA2 y MB2.

En caso de fallo simple de un equipo de tracción o de un convertidor de tracción, el tren deberá mantener capacidad de tracción degradada suficiente para continuar la explotación o alcanzar una zona segura, manteniendo unas prestaciones compatibles con la operación prevista por FMB.

El Adjudicatario deberá definir y justificar la estrategia de degradación de tracción, incluyendo la redistribución automática del esfuerzo tractor entre los equipos disponibles, las limitaciones térmicas, eléctricas y de adherencia, así como las prestaciones resultantes del tren en condición degradada.

La pérdida de un único equipo de tracción no deberá provocar la indisponibilidad total de la unidad ni comprometer la integridad de los restantes equipos de tracción.

El diseño del sistema de tracción y del control de antipatinaje deberá justificar las prestaciones del tren considerando los límites de adherencia rueda-carril adoptados como hipótesis de diseño. Salvo justificación técnica aceptada por FMB, no se asumirá una adherencia rueda-carril superior a $\mu \approx 0,20$ para tracción ni superior a $\mu \approx 0,17$ para frenado eléctrico.

El Adjudicatario deberá entregar en fase de proyecto los cálculos justificativos de esfuerzo de tracción, aceleración, prestaciones en modo normal y degradado, y demanda de adherencia por eje motorizado, considerando las condiciones de carga, diámetro de rueda, tensión de alimentación, rampa máxima, modos degradados y masa mínima sobre eje motorizado. El Adjudicatario deberá declarar en fase de proyecto la potencia total de tracción de la unidad y, en su caso, la potencia total correspondiente a la composición máxima prevista en explotación múltiple/remolcado. Cuando la potencia total de tracción del tren supere 2 MW, el tren deberá disponer de una función automática y configurable de limitación de potencia y/o corriente absorbida de la línea aérea de contacto. Dicha función deberá permitir adaptar la demanda de tracción a los límites admisibles de la infraestructura eléctrica de FMB, considerando la tensión de línea, la corriente máxima admisible, las condiciones de alimentación, la explotación prevista y, en su caso, la composición máxima en explotación múltiple o remolcado. El Adjudicatario deberá justificar esta funcionalidad conforme a la UNE-EN 50388-1 mediante documentación técnica, cálculos y/o ensayos.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto, mediante cálculo conforme a la UNE-EN 50388-1, que el factor de potencia del tren cumple los criterios de aceptación aplicables para las condiciones de explotación previstas.

Cada coche motor dispondrá de un equipo de tracción completo, compartiendo con el otro coche motor de su unidad sólo los elementos de captación de energía, puesta a tierra y disyuntor.

El equipo de tracción empleará semiconductores de potencia de última generación, escalables a futuras evoluciones tecnológicas. El Adjudicatario deberá indicar 2 (DOS) fabricantes diferentes de dichos semiconductores.

El cambio del semiconductor de potencia no obligará al cambio de sus gate drivers. El Adjudicatario deberá demostrar este punto en fase de proyecto.

El convertidor cumplirá con lo dispuesto en las normas UNE EN 61287-1 para convertidores de potencia, y sus módulos de control con la norma UNE EN 50155 para equipos electrónicos.

Para la interoperabilidad entre líneas de un tren con el mismo ancho, el cambio de tensión nominal de funcionamiento de los equipos al pasar de una línea a otra se realizará de forma automática sin necesidad de actuación por parte de personal de conducción. Siendo el tren y sus equipos capaces de adaptarse a los diferentes niveles de tensión presentes en las diferentes líneas de FMB.

En función de la tensión de alimentación, el equipo de tracción modificará los parámetros de funcionamiento que sean necesarios, sin reducción de sus prestaciones nominales, ni aparición de situaciones en las que se ponga en riesgo la disponibilidad, funcionalidad y seguridad del equipo.

El equipo eléctrico de los trenes está diseñado de tal forma que detecte y trate los despegues del pantógrafo de la catenaria soporte las variaciones bruscas de la tensión de alimentación, como son, por ejemplo, las originadas por pérdida de contacto entre pantógrafo y catenaria, o por apertura de disyuntores en las subestaciones de electrificación, y también soporte las sobretensiones que se presentan en la explotación normal de un sistema ferroviario. A este respecto, la cadena de tracción deberá cumplir los requisitos que se establecen en la UNE EN 61377.

La cadena de tracción se dimensionará teniendo en cuenta que la velocidad máxima nominal de servicio del tren será de 80 km/h. Cuando el tren alcance dicha velocidad, se cortará de forma automática la tracción.

La velocidad máxima de corte de tracción será configurable por FMB mediante parámetros de software, dentro del margen comprendido entre 70 km/h y 90 km/h, con una precisión mínima de 1 km/h, sin que dicha parametrización pueda comprometer las prestaciones de seguridad, frenado, señalización embarcada ni protección frente a sobrevelocidad.

Si el tren supera los 90 km/h, se aplicará automáticamente el freno de emergencia hasta la detención completa del tren. Esta condición deberá señalizarse de forma clara en la pantalla de conducción, identificando la causa como sobrevelocidad.

Una vez detenido el tren, y siempre que no permanezca activa ninguna otra orden de freno de emergencia ni condición de seguridad que impida la marcha, se retirará automáticamente la orden de freno de emergencia asociada a la sobrevelocidad y se podrá volver a aplicar tracción. En caso de avería de un equipo de tracción, éste se inhibirá o si fuese necesario se desconectará de la alta tensión de forma automática, para lo cual deberán preverse los dispositivos necesarios. La desconexión automática se realizará solamente en circunstancias que afecten a la seguridad del tren o del propio equipo de tracción.

La anulación de la desconexión del equipo de tracción se podrá efectuar de forma local en tren (activando un pulsador situado en el puesto de conducción en un lugar que evite su accionamiento involuntario).

En caso de fallo de la electrónica de un coche, el sistema deberá permitir desde cabina la anulación selectiva del equipo afectado, garantizando el aislamiento del subsistema defectuoso sin comprometer la operación segura del tren.

El sistema de control deberá redistribuir automáticamente el esfuerzo de frenado eléctrico entre el resto de los coches operativos, de forma que se mantengan las prestaciones mínimas requeridas de frenado para cada modo de operación (servicio y emergencia), conforme a los valores establecidos en este Pliego.

El Adjudicatario deberá demostrar esta funcionalidad mediante simulaciones dinámicas validadas y pruebas funcionales durante la fase de proyecto, incluyendo escenarios de fallo representativos y condiciones de adherencia desfavorables.

El sistema deberá cumplir con los requisitos de redundancia, modularidad y tolerancia a fallos especificados en los apartados correspondientes del presente Pliego, y deberá estar alineado con la normativa EN 13452-1 y EN 50126/50129 en lo relativo a seguridad funcional y condiciones degradadas.

La arquitectura del sistema de alimentación y tracción del tren deberá diseñarse de forma que un único fallo que afecte a la capacidad de tracción no prive a la unidad de más del 50 % de su

fuerza de tracción. El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto el cumplimiento de este requisito, identificando los fallos simples considerados y la fuerza de tracción remanente disponible en cada caso.

El equipo deberá estar diseñado para maximizar la inyección de energía durante el frenado regenerativo, manteniendo dicha operación activa hasta el mayor nivel de tensión admisible por la red conforme a la norma UNE EN 50163:2005/A2:2020. La tensión de corte del frenado regenerativo será la tensión nominal de la línea correspondiente más un 20%. Dicho valor será ajustado por el Adjudicatario, durante la fase de proyecto, a las condiciones reales de la línea.

Se exigirá que el sistema de tracción permita una tensión de corte del frenado regenerativo lo más elevada posible, de modo que el paso a frenado reostático solo se produzca cuando la tensión en catenaria alcance el límite superior, sin sobre pasarlo, permitido según norma.

El tren deberá gestionar la transición entre frenado regenerativo y reostático de forma eficiente, priorizando la inyección a red y minimizando el uso de resistencias de disipación.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá realizar las pruebas y simulaciones necesarias que acrediten mediante informe justificativo el correcto comportamiento del sistema de tracción del material rodante en condiciones reales de operación. Estas pruebas incluirán la verificación de la tensión de retorno a catenaria durante la fase de frenado regenerativo, la transición a frenado reostático, y la interacción con los sistemas de alimentación de la infraestructura existente (subestaciones, seccionadores, feeders, etc.).

Asimismo, deberá analizarse la compatibilidad electromagnética y energética del tren con los demás trenes en servicio, especialmente en situaciones de recuperación simultánea de energía o circulación en régimen degradado, a fin de asegurar la estabilidad de tensión y el cumplimiento de los límites establecidos en la norma UNE-EN 50163:2005/A2:2020.

Las resistencias de freno serán lo más pequeñas posible en volumen y peso, pero se dimensionarán para que el equipo de tracción pueda prestar servicio exclusivamente con el freno reostático sin devolución de energía a catenaria. Serán de material anticorrosivo y no se admitirán terminales soldados, ni deformaciones temporales o permanentes debidas a la temperatura.

Se deberá minimizar o anular el ruido generado por el freno reostático, debiendo aportar el Adjudicatario datos del nivel de ruido generado en dB(A) con corriente máxima en las resistencias de freno. El Adjudicatario aportará datos de la técnica empleada para ello en fase proyecto.

Para el diseño de los equipos de tracción no se aceptarán sistemas de refrigeración forzada por circuito cerrado de agua o cualquier líquido refrigerante. Se deberá garantizar la evacuación del

calor del equipo en cualquier condición de funcionamiento. Para garantizarlo se implementarán las protecciones térmicas que sean necesarias.

Si el equipo de tracción precisa de ventilación forzada por aire, el Adjudicatario en fase proyecto deberá justificar que el caudal de aire no se reduce a lo largo del tiempo por agentes externos, especialmente polvo o suciedad, debiendo aportar documentación relativa al mantenimiento necesario. Se reducirá, lo máximo posible, el ruido generado por la ventilación, incorporando para ello los elementos necesarios. Los ventiladores deberán ser fácilmente desmontables, sin necesidad de desmontar el equipo del tren, para realizar su limpieza.

Todos los subconjuntos y componentes serán de fácil acceso para su mantenimiento, por lo que el Adjudicatario deberá aportar documentación justificativa de la accesibilidad a todos los elementos del equipo en fase proyecto.

No será necesario el desmontaje del cofre de tracción del tren para proceder a la sustitución de componentes del mismo.

Los cofres de tracción serán fácilmente desmontables del bastidor del vehículo, no interfiriendo esta operación con otros elementos situados bajo bastidor. Se preverán conectores y sistemas de sujeción robustos, fiables y fáciles de desmontar para tal fin.

Los cofres de tracción deberán estar provistos de una doble seguridad relacionado con el proceso de su manipulación durante el montaje y desmontaje. Dicho sistema de seguridad deberá ser validado por FMB en fase de proyecto.

2.8.2 Electrónica de control de tracción y protecciones

Todas las tarjetas del equipo estarán centralizadas en un único bastidor que facilite su fácil y rápida sustitución. Las tarjetas serán fácilmente desmontables del conjunto. En su frontal se incluirán el máximo número de señalizaciones del estado de cada tarjeta, lo cual facilitará la localización de averías.

En caso de existir bastidores tipo rack, las tarjetas deberán ser fácilmente desmontables, estar identificadas con referencia, versión y número de serie, disponer de identificación de posición y contar con codificación que impida su inserción incorrecta. En el resto de las arquitecturas, deberán garantizarse funcionalidades equivalentes de identificación, diagnóstico, prevención de montaje incorrecto y mantenibilidad.

El equipo de tracción dispondrá de las protecciones necesarias para garantizar la integridad de sus elementos, en las condiciones normales de servicio en la línea. Las actuaciones desencadenadas por dichas protecciones serán las más adecuadas en cada caso, de modo que

garanticen que la apertura de disyuntor, contactores y el aislamiento del equipo de tracción solo se produzca en aquellos casos en que sea estrictamente necesario.

El equipo de tracción dispondrá, como mínimo, de las siguientes protecciones:

- Protección diferencial frente a derivación a masa.
- Protecciones de 50 Hz.
- Sobretensión y subtenensión de la tensión de catenaria.
- Sobrecorriente de línea.
- Sobretensión y subtenensión en el condensador de filtro.
- Sobrecorriente en las resistencias del freno reostático.
- Sobretensiones en la salida a motores de tracción.
- Sobrecorrientes en la salida a motores de tracción.
- Protecciones térmicas de los semiconductores de potencia y otros elementos del equipo que lo precisen.
- Otras que el Adjudicatario considere necesarias para la protección del equipo de tracción.

En fase de proyecto se detallarán los modos degradados asociados al disparo de las protecciones descritas, y a los avisos previos de dichas protecciones.

El sistema de refrigeración de los semiconductores de potencia deberá estar dotado de los sensores necesarios para que, en caso de que exista una reducción de la evacuación del calor, el control de la tracción active los mecanismos necesarios para evitar que se alcancen temperaturas que afecten a la vida útil de los semiconductores o a su integridad.

El rack de control de cada equipo de tracción estará conectado al bus del sistema informático embarcado para intercambiar las informaciones y órdenes de mando.

Los equipos de control deberán incorporar auto diagnóstico de fallos, averías y eventos para determinar su estado operacional:

- Operativo.

- Incidencia que no afecta al servicio.
- Modo degradado con reducción de prestaciones.
- Fuera de servicio.

El control de tracción estará dotado de un software de autodiagnóstico que indique el módulo o tarjeta en los que está localizada la avería. El resultado de los autodiagnósticos será transmitido al bus del sistema informático, pudiéndose visualizar en la pantalla de monitorización del puesto de conducción. El Adjudicatario, en fase de proyecto, someterá a la aprobación de FMB las características de la información mostrada a través de la monitorización.

Se dotará al equipo de tracción de un sistema de registro histórico de fallo/eventos con fecha y hora en que se ha producido, que estarán acompañados del contexto asociado a cada tipo de evento o fallo. Este contexto consistirá en el registro del valor de las señales analógicas y el estado de las señales digitales relevantes, asociadas a cada tipo de evento.

El Adjudicatario garantizará que el volcado del histórico de incidencias, o fallos del equipo de tracción, pueda efectuarse en modo local a un Ordenador Portátil a través del bus del sistema informático. A tal efecto, se proporcionará el software necesario para poder interpretar dicho histórico, debiendo ser sometido a la aprobación de FMB el formato de presentación de éstos.

También se proporcionará un programa monitor que, a través de un Ordenador Portátil conectado al propio equipo de tracción o al sistema informático del tren, proporcione en tiempo real los parámetros de funcionamiento del equipo necesarios para su mantenimiento preventivo y correctivo.

Se incorporará en el control de tracción la función de autotest del equipo de tracción, sin y con alta tensión aplicada. Esta función deberá informar del estado del equipo de tracción y de aquellos elementos que pudieran presentar anomalía.

Se podrán obtener registros, en tiempo real, de las variables analógicas y digitales más significativas del equipo de tracción y estas serán publicadas en el bus informático. El Adjudicatario junto con FMB definirá qué variables se deben publicar en fase de proyecto.

Se incorporará una función que permita definir un contexto de señales analógicas y digitales, que cuando cumplan determinadas condiciones activarán la captura gráfica de un conjunto de señales también predefinible. Este registro abarcará como mínimo un período de tiempo de +/- 3 segundos desde la activación de la condición de registro.

Cada equipo de tracción incorporará un contactor principal, cuya misión será aislar el circuito de tracción de la alta tensión cuando ese equipo de tracción se encuentre fuera de servicio, o cuando exista cualquier tipo de anomalía que deba provocar la desconexión de catenaria del equipo de tracción.

Se deberá garantizar que la apertura del contactor se efectúe siempre que la corriente a seccionar sea nula o tenga un valor suficientemente bajo para no dañar sus contactos por arco.

El equipo de tracción deberá permitir una reconexión inmediata ante una apertura del lazo de emergencia, al recuperarse este, sin que el equipo de tracción se vea afectado en ninguna de sus funciones o características.

El mando de tracción y freno del tren se realizará a través de los elementos presentes en el puesto de conducción (Llave de gobierno, Selector de marchas, Manipulador de marcha freno, ...).

El control de los motores de tracción que realiza el convertidor de potencia permite el cambio de sentido de marcha del Tren sin utilizar procedimientos electromecánicos.

Se deberá poder circular marcha atrás a 25 km/h, para lo cual se instalará un pulsador precintado en el interior de los armarios de conducción. Dicho pulsador se iluminará al ser accionado, y cuando se sitúe el selector de marchas en “Atrás” se activará una alarma acústica y visual. El estado del pulsador se registrará en el equipo caja negra. Se seleccionarán las cámaras necesarias para dicha maniobra de forma automática pero también se podrá hacer de forma manual.

2.8.3 Antipatinaje y antibloqueo coches

El sistema de tracción del tren deberá integrar las siguientes funciones:

- Antipatinaje, para evitar el deslizamiento de las ruedas motrices durante la tracción.
- Antibloqueo en frenado eléctrico, para evitar el arrastre o deslizamiento de las ruedas motrices durante la frenada regenerativa o reostática.

Ambas funciones estarán implementadas en el sistema de control de tracción y deberán ser gestionadas electrónicamente por coche, de forma autónoma y segura, garantizando una utilización óptima de la adherencia disponible en todo momento.

El sistema deberá:

- Detectar y corregir el patinaje durante la fase de tracción.

- Ajustar el esfuerzo motriz en tiempo real para evitar pérdida de adherencia o aparición de planos en ruedas.
- Estará operativo en toda la gama de velocidades (0–90 km/h), prestando especial atención al arranque desde parada, momento especialmente crítico.
- El jerk asociado a las correcciones no superará los 0,8 m/s³, siendo este parámetro ajustable por personal de FMB mediante herramientas de configuración.

Durante la frenada eléctrica (regenerativa o reostática), el equipo de tracción deberá controlar el antibloqueo de ruedas motrices, modulando el par de tracción/freno en función del nivel de adherencia rueda-carril. La lógica de WSP deberá:

- Actuar por coche,
- Detectar condiciones de bloqueo o deslizamiento,
- Corregirlas mediante reducción selectiva del par de frenado.

El sistema incluirá un autotest software para las funciones de antipatinaje y antibloqueo eléctrico, con capacidad de:

- Diagnosticar el correcto funcionamiento del sistema y de sus elementos.
- Identificación de fallos con indicación del coche,
- Señalización al puesto de conducción, a través del sistema de monitorización del tren.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar:

- Los tiempos de respuesta obtenidos en condiciones desfavorables (ej. patinaje o bloqueo simultáneo de 4 ejes),
- La estrategia de control y recuperación de adherencia,
- La lógica de actuación y algoritmos empleados en cada modo.

El sistema será totalmente compatible con:

- El sistema de freno neumático,
- Los sistemas de seguridad del tren (protección contra marcha bloqueada, control de esfuerzo, etc.),

- El sistema informático del tren para monitorización centralizada.

2.8.4 Motores de tracción

Las prestaciones del motor de tracción serán las adecuadas para conseguir que los trenes circulen en las condiciones de marcha especificadas en este pliego y de forma que en freno la recuperación de energía sea óptima en toda la gama de velocidades.

Los motores de tracción serán de corriente alterna, trifásicos, asíncronos del tipo jaula de ardilla. Los motores se dimensionarán para que los trenes cumplan las prestaciones dinámicas especificadas en este Pliego.

En fase de proyecto se aportará la siguiente información de los motores:

- Potencia nominal y potencia máxima.
- Par nominal y par máximo.
- Máxima velocidad de giro.
- Tensión fase-fase a velocidad máxima.
- Rendimiento a potencia nominal y velocidad máxima.
- Pérdidas totales a potencia nominal y velocidad máxima.
- Temperatura ambiente de funcionamiento. Debe ajustarse al rango de -15° a $+50^{\circ}$.
- Clase de aislamiento.
- Grado de protección del motor.
- Peso.
- Curvas características del motor en vacío y plena carga, las cuales se deberán verificar en banco de pruebas.
- Como mínimo se entregarán las siguientes gráficas, teniendo todas ellas como eje de abscisas la velocidad de giro del motor (rpm) – frecuencia del estator:

EN TRACCIÓN:

Curva 1: ORDENADAS: Par motor y Potencia.

Curva 2: ORDENADAS: Tensión eficaz y Corriente eficaz.

Curva 3: ORDENADAS: (Relación: tensión estator/frecuencia estator) y deslizamiento en % y en Hertz).

EN FRENO (las mismas gráficas):

Curva 1: ORDENADAS: Par motor y Potencia.

Curva 2: ORDENADAS: Tensión eficaz y Corriente eficaz.

Curva 3: ORDENADAS: (Relación: tensión estator/frecuencia estator) y deslizamiento en % y en Hertz).

- Potencia equivalente del cálculo de diagrama de marcha y su calentamiento.
- Sobrecarga máxima de par y potencia admisibles para este motor durante 30, 15 y 1 minuto.

Los datos y curvas del motor se darán para cada una de las tensiones de catenaria definidas en la normativa.

El bogie será bimotor (un motor por eje) con los motores suspendidos de los traveseros centrales del bastidor del bogie.

Estará provisto de los dispositivos necesarios para que en caso de rotura de los amarres se impida la caída del motor a la vía.

Los motores serán autoventilados, cerrados, debiendo ofrecer un grado de protección mínimo IP55.

En fase de proyecto se presentará a FMB el tipo de rodamientos elegido, que serán ampliamente dimensionados. Se proporcionarán, al menos, dos fabricantes homologados de rodamientos para el motor elegido.

Los rodamientos impedirán el paso de corrientes parasitas a través de ellos.

Los motores estarán totalmente suspendidos, efectuándose la transmisión del esfuerzo tractor a los ejes a través de acoplamientos elásticos.

Los motores de tracción deberán ser específicamente aptos para aplicación ferroviaria y cumplir las normas IEC/EN aplicables a máquinas eléctricas rotativas ferroviarias.

Los motores deberán someterse, como mínimo, a los ensayos de tipo y de serie definidos en la familia de normas IEC 60349 aplicable, incluyendo los ensayos eléctricos, térmicos, mecánicos, dieléctricos, funcionales y de calentamiento correspondientes.

Serán asimismo de aplicación las normas ferroviarias y recomendaciones internacionales aplicables relativas a comportamiento térmico, aislamiento, vibraciones, compatibilidad electromagnética, esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales de explotación.

El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto la lista completa de normas aplicadas, el programa de ensayos de tipo y serie, los criterios de aceptación y los certificados o informes justificativos correspondientes.

El rotor estará equilibrado estática y dinámicamente. Los contrapesos o eliminación de material para equilibrado serán de fácil aplicación y no afectarán a la resistencia de las piezas o buen funcionamiento del motor.

La carcasa del motor estará protegida contra corrosiones debidas a condiciones ambientales adversas o proyecciones de aguas salinas.

El suministrador de la cadena de tracción indicará el procedimiento de captación de velocidad de los motores, proporcionando datos sobre la resolución y linealidad de la medida desde 0 km/h a 90 km/h. Los captadores deberán reconocer el sentido de giro de los ejes.

2.8.5 Emisor de consigna de tracción

El manipulador de tracción-freno, o el ATO, generará una consigna en función del par requerido de tracción o freno, que será lineal y proporcional al desplazamiento en el caso del manipulador. Esta consigna será enviada a través de la red troncal TCN, a los equipos que la requieran de forma redundada.

La transmisión de señales desde los elementos de mando de tren, o el ATO, se realizará a través del bus del sistema informático, salvo las de aquellas que por motivos de seguridad deban realizarse a través de líneas hardware cableadas clásicas que deberá justificar el Adjudicatario.

Al pedir F7 a través del manipulador marcha freno, por el sistema de conducción automática sin personal de conducción, o por el ATO, la señal del emisor de consigna debe desaparecer, de forma que se desencadenará la apertura del lazo de freno de emergencia por el equipo de control de freno neumático.

En el caso de fallo del sistema informático, el Adjudicatario preverá una consigna local, a nivel de equipos, y de las señales digitales hardware de tracción y freno necesarias para traccionar y

frenar el tren. El cambio de modo de conducción deberá ser seguro y rápido para evitar, que el servicio de la línea quede afectado.

El desplazamiento del manipulador marcha-freno tendrá 4 zonas claramente definidas: tracción, deriva, freno de servicio y freno de emergencia. Tales zonas estarán coordinadas con las funciones de sistema de conducción automática.

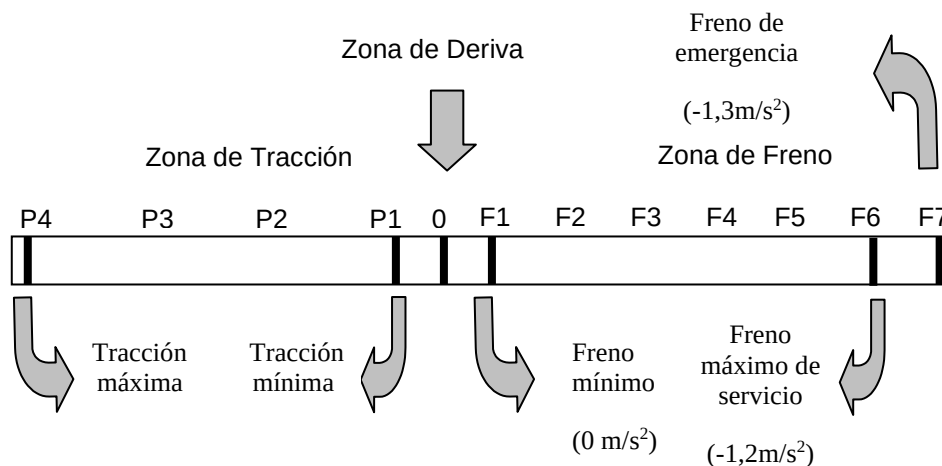
La zona de tracción estará comprendida entre las posiciones marcadas como P1 y P4, existiendo 2 posiciones intermedias marcadas como P2 y P3.

La zona de deriva estará comprendida entre las posiciones marcadas como P1-0-F1.

La zona de freno de servicio estará comprendida entre las posiciones F1 y F6, existiendo 4 posiciones intermedias marcadas como F2, F3, F4 y F5.

La posición de freno de emergencia, F7, estará en el extremo de la zona de freno de servicio, junto a F6 (tal como se muestra en el croquis). Para evitar el desplazamiento involuntario del manipulador hacia la zona de freno 7, la zona de paso del manipulador de F6 a F7 opondrá una resistencia al movimiento adecuada.

Cuando el manipulador esté en la zona de F7 quedará enclavado, y para desenclavarlo se deberá efectuar un esfuerzo similar al necesario para llevar el manipulador hacia F7.



En la zona de tracción, el manipulador generará una consigna de par a aplicar a los motores, proporcional al desplazamiento del manipulador. El equipo de tracción ajustará el par de los motores para obtener una aceleración constante, siendo la aceleración de $1,2 \text{ m/s}^2$ para todo el tren en P4. A partir de este punto la potencia aplicada a los motores será constante.

Al poner el manipulador en la zona de freno de servicio, el tren frenará con una deceleración proporcional a la posición del manipulador entre F1 y F6, siendo 0 m/s^2 para F1 y $-1,2 \pm 0,05$

m/s² para F6. La deceleración demandada se obtendrá mediante la suma del freno eléctrico disponible y el freno neumático suplementario que sea necesario.

Al llevar el manipulador a la zona de freno de emergencia F7, se aplicará freno neumático, obteniéndose una deceleración de $-1,3 \pm 0,05$ m/s².

La transmisión de señales desde los elementos de mando de tren se realizará a través del bus del sistema informático, salvo aquellas que por motivos de seguridad deban realizarse a través de líneas hardware cableados que deberá justificar el Adjudicatario.

El manipulador estará dotado de un dispositivo de codificación de su posición, para informar de la misma al sistema informático. El sistema informático informará de la demanda de consigna, generada por el codificador, a los equipos del tren que la requieran.

El Adjudicatario podrá proponer otro tipo de sistema y funcionamiento debidamente justificado. En funcionamiento del manipulador tracción-freno deberá ser aprobado por FMB.

2.9 BOGIES (H)

La sustentación de los coches se hará mediante dos bogies independientes por coche. Los bogies serán:

- Motores: los dos ejes con capacidad tractora (ejes motores).
- Remolques: los dos ejes sin capacidad tractora (ejes remolques o portantes).

El dimensionamiento de los bogies cumplirá con la norma UNE-EN 13749 “Aplicaciones ferroviarias. Ejes montados y bogies. Métodos para especificar los requisitos estructurales de los bastidores de bogie”.

Como principios generales de diseño, deberán considerarse fundamentalmente los correspondientes a simplicidad del bastidor, accesibilidad y mantenimiento reducido, compatible con unas excelentes características respecto a alta adherencia, estabilidad de marcha, reparto de carga en las ruedas, perfecta rodadura e inscripción en los trazados de las líneas de FMB y la máxima seguridad debida al servicio a prestar.

Los bogies alojarán los elementos correspondientes de los equipos de tracción y frenado, salvo para el caso del coche remolque que sólo incorporará los de frenado, por lo que en la concepción del bastidor deben ubicarse los correspondientes soportes y apoyos.

El bogie estará dotado de las antenas, tacogeneradores de ATP, ATO y elementos necesarios para la conducción automática. Las antenas tendrán la protección mecánica necesaria para que no se dañen ante el golpe de pequeños objetos, el diseño de la protección será validado en fase de proyecto por FMB

El bogie incorporará también los elementos para la suspensión del vehículo.

El engrase del contacto rueda carril se realizará con elementos estáticos desde la vía, exceptuando el caso de los trenes que circulen por línea 2 se instalarán engrasadores embarcados con el objetivo de minimizar el desgaste de carril y pestaña, reducir niveles sonoros en curvas, mantener condiciones óptimas de adherencia, sin comprometer la frenada ni la tracción. El Adjudicatario deberá elaborar y presentar un estudio técnico justificativo que contemple:

- Características geométricas de la red (radios de curva, pendientes, elevaciones, etc.).
- Análisis de interacción rueda-carril y dinámica del material móvil.
- Influencia de los sistemas actuales de engrase en vía ya existentes.

- Compatibilidad entre la grasa utilizada actualmente y la propuesta para trenes.
- Evaluación del impacto en adherencia y eficiencia del sistema.

Este estudio será validado por FMB y determinará:

- Necesidad de instalar el sistema de engrase embarcado para L2.
- Número de engrasadores, su ubicación y tipo.
- Frecuencia de aplicación y condiciones de activación.

El sistema podrá incorporar:

- Aplicadores de grasa tipo líquido o en pastilla, con diseño de eficacia probada en ferrocarriles, a determinar en fase de proyecto.
- Depósito de grasa, que podrá ser del tipo convencional (tanque recargable) o tipo pastilla sólida autoconsumible, según propuesta del Adjudicatario.
- Protección contra agentes externos (agua, polvo, impactos).
- Sistema integrado en el bastidor o próximo al bogie, accesible para tareas de mantenimiento.

El funcionamiento y control del sistema deberá cumplir con:

- Activación automática programada, en función de distancia recorrida, detección de curva y/o posicionamiento.
- Posibilidad de activación manual desde cabina para pruebas o situaciones específicas.
- Función de anulación manual o remota desde sistema embarcado, en caso de fallo o mantenimiento.

El sistema incluirá autodiagnóstico automático con reporte de:

- Nivel de grasa o desgaste de pastilla.
- Fallo de activación o presión anómala.
- Estado de válvulas, sensores y líneas de aplicación.

- Los errores serán enviados al sistema informático del tren, visualizado en la pantalla de conducción y dispondrá de un registro histórico de eventos.

El sistema deberá ser compatible con los sistemas de engrase en vía actualmente instalados en FMB, para ello:

- El tipo de grasa deberá ser compatible con los sistemas de engrase fijos puntuales en vía existentes, garantizando que no exista interferencia entre ambos sistemas (ni sobreengrase ni pérdida de adherencia).
- El sistema debe garantizar ausencia de contaminación sobre la superficie de rodadura del carril.

El Adjudicatario propondrá una estrategia de engrase compatible entre engrasador embarcado y engrasador de vía.

Se realizará una prueba tipo para validar la correcta ubicación, eficacia y funcionamiento del sistema.

En las pruebas serie, se verificará el estado y montaje correcto de cada engrasador y su activación controlada.

Se exigirá al Adjudicatario la realización de un estudio comparativo de desgaste y nivel sonoro con/sin sistema activo, durante la fase de proyecto.

Todos los componentes serán accesibles sin desmontar el bogie.

El sistema de engrasador de pestañas se incluirá en el Plan de mantenimiento.

Se realizará el cálculo de la tasa de descarga de rueda en función de la rampa de peralte, para cada tipo de suspensión. Con el objeto de asegurar que los resultados obtenidos son satisfactorios y están conforme a lo requerido el criterio de aceptación será la norma UNE-EN 14363 “Aplicaciones ferroviarias. Ensayos y simulaciones para la aceptación de las características dinámicas de los vehículos ferroviarios. Comportamiento dinámico y ensayos estáticos”.

Para compensar el desgaste de ruedas (de hasta 100 mm en diámetro), podrá regularse la altura de la caja mediante calas, escalonamientos, etc. Esta operación deberá ser fácilmente realizable y en ningún caso será preciso desmontar el bogie.

Todos los elementos constitutivos del bogie serán intercambiables, por lo que los bogies resultantes serán también intercambiables en cualquier posición del tren.

Los bogies de los coches remolques estarán concebidos y calculados para ser convertidos fácilmente en bogies motores, debiendo tener todos los soportes y alojamientos necesarios para tal fin.

El sistema de propulsión del bogie se efectuará mediante dos motores, actuando cada uno de ellos sobre un eje, mediante los reductores y acoplamientos elásticos necesarios.

La sujeción de los motores será exclusivamente del bastidor del bogie. Deberá ser lo más cerca posible del centro del bogie.

Se preverá la unión eléctrica necesaria entre la caja y el bogie de forma que la corriente de retorno no produzca efectos perjudiciales.

En la unión eléctrica y neumática entre caja y bogie se utilizarán conectores de alta fiabilidad y calidad, exceptuando retornos de corriente, que permitan una gran maniobrabilidad en las operaciones de levante de bogies, embornes, acoples, averías etc.

El bogie y sus equipos estarán protegidos contra la corrosión, teniéndose en cuenta las condiciones ambientales existentes en la red de FMB.

El Adjudicatario deberán presentarse, como mínimo, la documentación que a continuación se indica para cada tipo de bogie (anchos UIC e Ibérico tanto para bogies motores como remolques):

- Plano de conjunto y detalle de los bogies.
- Peso y características principales de los bogies.
- Cálculos dinámicos de estabilidad del vehículo para máxima velocidad de 90 km/h con perfiles de rodadura nuevos y usados.
- Cálculo previo de las frecuencias propias de las suspensiones vertical y transversal.
- Cálculo de la vida útil y periodos de engrase de los rodamientos de caja de grasa, motores y reductoras.
- Cálculo de las prestaciones del freno de servicio y del estacionamiento.
- Previsión en kilómetros de duración de las ruedas.

En fase I

ingeniería del proyecto se entregará informe justificativo de análisis de la accesibilidad de los distintos elementos principales a efectos de mantenimiento y descripción de las operaciones de desmontaje y montaje de los mismos a fin de valorar su mantenibilidad.

Las hipótesis de carga, los criterios de cálculo y los de análisis se establecerán de acuerdo con la norma UNE- EN 13749 para la categoría de bogie correspondiente.

El máximo desequilibrio de carga entre bogies de la unidad será de $\pm 8 \%$. Adicionalmente, los desequilibrios de cargas por rueda no superarán el 4% entre ruedas del mismo eje, 2% entre ejes del mismo bogie, y 2% entre las dos filas de rueda de un mismo coche.

Con la caja del tren elevada los bogies deberán ser capaces de permanecer suspendidos de forma segura sin ayuda de elementos externos a este.

Se dispondrá en los extremos de los largueros, de elementos de amarre para realizar el transporte del bogie, en posición horizontal sobre sus ruedas por medio de cabrestante o barra de arrastre.

Se dispondrá de puntos de sujeción para elevación vertical para poder transportar el bogie mediante puente grúa.

El Adjudicatario deberá demostrar en fase de proyecto, mediante cálculos, que el diseño de los bogies permitirá cumplir en todo el ciclo de vida de los equipos/elementos con la norma EN 14363, incluyendo condiciones degradadas o de desgaste de los distintos elementos de influencia, en los modelos de simulación.

Se indicarán en fase de proyecto las velocidades críticas para las frecuencias de resonancia del bogie, tanto para la circulación en vacío como con carga máxima, debiendo ser todas ellas muy superiores a la velocidad máxima permitida por el tren.

Durante las pruebas dinámicas en vía del primer tren prototipo con condiciones de carga AW3, dos de los bogies motores extremos (cola y cabeza de una Unidad), se sensorizará para verificar que el nivel de esfuerzos y tensiones no superan a los valores de diseño y cálculo del bogie y los aceptables por la vía.

A lo largo de la vida útil del material móvil, no será admisible la aparición de ningún tipo de grieta o fisura en el bastidor del bogie ni en la traviesa bailadora en caso de que la hubiere. La aparición de alguno de estos defectos será considerada contra la seguridad y exigirá del Adjudicatario una

campaña inmediata de comprobación de todo el parque y en su caso la reparación a su cargo ya sea dentro o fuera del período de Garantía.

2.9.1 Bastidor

El bastidor deberá asegurar la capacidad resistente a todo tipo de solicitaciones a las que se puedan ver sometidos tanto los bastidores, así como sus componentes, debidas a las condiciones de servicio a efectuar en FMB.

El primer bastidor en fabricación será sometido a un ensayo extensiométrico y de fatiga conforme a la norma UNE-EN 13749, a fin de estudiar los límites admisibles, su comportamiento y verificar la validez del diseño.

2.9.2 Ejes

El Adjudicatario se atenderá a las especificaciones reflejadas en las normas UNE-EN 13260 y 13261, salvo indicación en contra u otra normativa que el Adjudicatario estime oportuno y que deberá ser aprobada por FMB.

Los ejes cumplirán la norma UNE-EN 13103-1:2019 o, en su defecto, otras que el Adjudicatario estime oportunas, que deberán ser aprobadas por FMB.

Las dimensiones geométricas de los ejes montados deberán ajustarse a los valores límite establecidos para el ancho de vía pertinente, tomándose dichos límites como valores de diseño (ejes montados nuevos) y como valores límite en servicio (mantenimiento). Para las líneas de 1.435 mm serán de aplicación los límites indicados a continuación; para el ancho 1.674 mm se aplicarán los valores límite propuesto por el Adjudicatario que deberá demostrar en fase de proyecto.

El Adjudicatario deberá definir en la documentación de diseño, fabricación y mantenimiento del conjunto eje montado los valores nominales, tolerancias de fabricación, límites en servicio y límites de mantenimiento de la distancia entre caras internas, distancia entre caras activas y resto de cotas funcionales del conjunto rueda-eje.

Para los trenes de ancho 1.435 mm, dichos valores deberán ser coherentes con los requisitos aplicables y normas europeas de aplicación.

Para los trenes de ancho 1.674 mm, al no estar dicho ancho de vía cubierto de forma específica por los valores geométricos en la normativa de referencia, el Adjudicatario aplicará los valores específicos para la red de FMB, el Adjudicatario justificará su idoneidad mediante estudio de

compatibilidad rueda-carril, gálibo, guiado, inscripción en curva, paso por aparatos de vía, desgaste admisible y mantenimiento.

Como valores de referencia para el conjunto eje montado se establecen los siguientes:

	1.435 mm		1.674 mm	
	MAX	MIN	MAX	MIN
Distancia entre caras internas	1.363	1.358	1.603	1.597
Distancia entre caras activas	1.426	1.412	1.659	1.648

Valores de referencia

Los valores de distancia entre caras activas deberán definirse de forma coherente con la distancia entre caras internas, el perfil de rueda seleccionado, el espesor nominal y mínimo admisible de pestaña, las tolerancias de fabricación y mantenimiento, y el desgaste máximo permitido de la rueda. El Adjudicatario deberá justificar la relación entre dichas cotas y demostrar su compatibilidad con la geometría de vía, carril y aparatos de vía de FMB, tanto para rueda nueva como para rueda en límite de desgaste.

La impedancia entre dos ruedas de un mismo eje será inferior al valor establecido en la norma EN 13260.

Los extremos del eje deberán ser planos y bien alisados (salvo los puntos para el torneado y fijaciones) para poder examinar fácilmente por ultrasonidos, en las operaciones normales de mantenimiento, la existencia de fisuras en ejes.

Se deberá acompañar cada eje con su certificado de calidad que certifique todos los controles realizados.

El conjunto eje montado podrá ser desmontado sin necesidad de desmontar el bogie de la caja.

2.9.3 Ruedas

Las ruedas deberán ser de acero no aleado y de bajo contenido en carbono, monobloque y cumplir la norma UNE-EN 13262, en calidad R7, en lo relativo al producto y material. Asimismo, deberán haber sido diseñadas, dimensionadas y homologadas conforme a la norma UNE-EN 13979-1, relativa a la validación del diseño estructural de ruedas de acero monobloque para ferrocarril. La demostración de sus características mecánicas se realizará mediante cálculos de resistencia mecánica conforme a dicha norma, considerando los casos de carga de vía recta, circulación en curva y paso por agujas y cruzamientos.

Las ruedas propuestas deberán ser las mismas para las líneas de 1.435 mm como para el ancho

1.674 mm, el Adjudicatario que deberá demostrar en fase de proyecto dicha compatibilidad.

El Adjudicatario deberá disponer y aplicar en fase de fabricación un procedimiento de verificación de las ruedas que garantice la ausencia de defectos que puedan disminuir el nivel de seguridad como consecuencia de cambios en sus características mecánicas. Dicho procedimiento incluirá, como mínimo, la verificación de la resistencia a tracción del material, la dureza de la superficie de rodadura, la tenacidad/resiliencia, la resistencia al impacto, las características del material y la limpieza del material, y deberá especificar expresamente el lote de muestra aplicable a cada característica verificada.

Las ruedas deberán ser aptas para soportar las sollicitaciones termomecánicas derivadas de la energía máxima de frenado prevista para la unidad, de acuerdo con el cálculo térmico del sistema de freno y con los escenarios de validación definidos en el presente Pliego.

El perfil geométrico de la rueda será el definido por la norma NF F03-402 y deberá cumplir con las tolerancias y criterios dimensionales establecidos en la norma UNE-EN 13715, incluyendo las dimensiones del velo y la llanta.

Para masa de diseño bajo carga útil normal y diámetro mínimo de rueda desgastada, con carga por eje $\leq 22,5$ t, se cumplirá $Q/D \leq 0,15$ kN/mm. El Adjudicatario justificará el cumplimiento mediante ficha de cálculo (Q por rueda, D mínimo, Q/D) para la condición indicada.

El Adjudicatario deberá entregar en fase de proyecto la justificación de la rueda identificando expresamente la condición de carga utilizada para la determinación de la fuerza estática vertical máxima.

Las ruedas nuevas que se instalen en los trenes tendrán un espesor de pestaña (Sd) inicial de 30 mm.

El mantenimiento incluirá mediciones periódicas de perfiles de rueda y de la distancia entre caras activas; con dichas mediciones se calculará la conicidad equivalente, verificando que no se supera la conicidad equivalente máxima de diseño/ensayo. En caso contrario, se aplicará corrección por reperfilado y/o actuaciones definidas en el plan de mantenimiento.

	MAX	MIN
qR	---	6,5
Espesor de pestaña (Sd)	33	25
Altura de pestaña (Sh)	36	27,5

Valores geométricos ruedas

El Adjudicatario deberá realizar un estudio detallado de la interacción dinámica rueda-carril con el objetivo de definir el perfil de rueda más adecuado para las condiciones de explotación de nuestra red.

El estudio deberá incluir:

- Análisis de la dinámica del vehículo con distintos perfiles de rueda (incluyendo el actual y alternativas viables) mediante simulaciones multibody en condiciones representativas de circulación (curvatura, velocidad, tipos de vía, transiciones, etc.).
- Evaluación y propuesta de la conicidad equivalente y su influencia en la estabilidad dinámica, guiado, comportamiento en curva, desgaste y ruido.
- Simulaciones de desgaste predictivo a medio plazo bajo hipótesis de carga y condiciones reales de servicio, con especial atención al desgaste en la pestaña.
- Análisis de compatibilidad del perfil propuesto con el perfil de carril en uso en la red, considerando tolerancias y posibles combinaciones desfavorables.
- Recomendación técnica del perfil óptimo, justificando la elección mediante los resultados de las simulaciones y proponiendo, si es necesario, una adaptación de tolerancias de mantenimiento o estrategias de torneado.

Cualquier propuesta de cambio de perfil respecto al actual deberá ser evaluada y aprobada previamente por FMB.

El Adjudicatario deberá entregar en fase de proyecto el plano constructivo completo de la rueda, acotado y con todas las dimensiones, tolerancias, especificaciones de material, tratamientos, acabados, referencias normativas y demás información necesaria para su fabricación, control e inspección.

La documentación entregada deberá permitir a FMB, por sí misma o a través de terceros, la fabricación, reposición, mantenimiento, mecanizado, control y homologación de la rueda durante la vida útil del tren, sin dependencia exclusiva del fabricante original.

No se aceptarán soluciones basadas en perfiles, geometrías, planos o diseños propietarios cuya utilización, reposición o fabricación posterior por terceros quede limitada o condicionada sin el consentimiento del Adjudicatario o de sus suministradores.

En caso de que el adjudicatario proponga una solución inicialmente desarrollada por él o por un tercero, deberá garantizar expresamente la cesión a FMB de los derechos de uso necesarios

sobre la documentación técnica y de fabricación de la rueda para permitir su contratación futura con terceros fabricantes.

El diámetro nominal de la banda de rodadura de la rueda nueva será de 840 mm. El límite de salida de torno para servicio comercial será de 740 mm., estableciéndose la capacidad máxima de desgaste en consonancia con el gálibo inferior del bogie, pudiendo ser por lo tanto de hasta 100 mm de diámetro. Se debe asegurar que el tratamiento térmico al que deben ser sometidas las ruedas cubre el desgaste máximo previsto. En la cara externa de la llanta de la rueda deberá existir un testigo/entalla de último torneado, este deberá cumplir con la norma UIC510-2 y ser visible hasta el final de la vida útil de la rueda.

El Adjudicatario indicará las diferencias admisibles de ruedas entre las de un mismo eje, entre ejes del mismo bogie y entre ruedas de distintos bogies del coche y la unidad.

Para cada eje montado se remitirá a FMB el diagrama correspondiente de las presiones de calado de las ruedas, realizado según UNE-EN 13260, y los ensayos no destructivos por rueda mediante técnica de ultrasonidos.

En el cubo de la rueda se deberán prever los canales y orificios de decalado para el acoplamiento de los dispositivos de extracción de rueda bajo presión de aceite. En el cubo se incorporará un resalte circular de forma que mediante el útil adecuado se pueda realizar el descalado de la rueda, realizando la tracción sobre el mismo.

Las ruedas estarán preparadas para ser reperfiladas en el torno de foso y en el de bancada.

El acabado de las ruedas será pintado para prevenir la corrosión de estas.

2.9.4 Cajas de grasa

Los rodamientos serán de rodillos normalizados para ferrocarril y de primeras marcas acreditadas ampliamente en el sector ferroviario. En caso de utilizar otro tipo de rodamiento deberá ser aprobado por FMB.

Cumplirán la norma UNE-EN 12080 “Aplicaciones ferroviarias. Cajas de grasa. Rodamientos” y la norma UNE 18050 “Rodamientos para cajas de grasa de ferrocarriles. Inspección de recepción”.

Las cajas de grasa serán estancas al polvo y al agua (IP65).

La caja de grasa permitirá la inspección del conjunto y el recambio de las escobillas de puesta a tierra del bastidor.

Las escobillas de puesta a tierra deberán ser de material técnicamente adecuado para garantizar la continuidad eléctrica requerida, con el menor contenido metálico y la menor generación de partículas técnicamente viable. El Adjudicatario deberá entregar, para cada tipo de escobilla instalada, la ficha de seguridad y/o documentación equivalente del fabricante, así como una declaración de conformidad REACH/CLP y de ausencia de amianto y sustancias prohibidas o restringidas.

Dicha documentación deberá identificar cualquier sustancia peligrosa o SVHC presente, así como la posible presencia de componentes susceptibles de generar polvo o partículas durante el uso, desgaste, manipulación, sustitución, limpieza o gestión como residuo.

La solución propuesta para las escobillas de puesta a tierra deberá ser validada expresamente por FMB en fase de proyecto. FMB podrá solicitar la sustitución por una solución alternativa que minimice la generación de polvo, partículas metálicas o sustancias peligrosas, siempre que exista una alternativa técnicamente viable compatible con los requisitos funcionales y eléctricos del tren. Dicha sustitución, incluyendo estudios, homologaciones, adaptación documental, suministro e implantación, no supondrá coste adicional para FMB.

Todos los ejes deben tener el mismo tipo de rodamiento estándar, siendo estos dimensionados para el más solicitado, según la distribución de esfuerzos.

Las cajas de grasa y sus rodamientos deberán ser adecuados para las condiciones de servicio previstas y deberán demostrar el cumplimiento de las prescripciones relativas a resistencia mecánica y características de fatiga del rodamiento conforme a las normas UNE-EN 12081 y UNE-EN 12082, según resulte de aplicación. Asimismo, el conjunto deberá validarse mediante ensayo conforme a normativa, incluyendo al menos dos tipos de lubricantes que puedan ser adquiridos en la Unión Europea. El Adjudicatario aportará en fase de proyecto la documentación técnica justificativa, cálculos, ensayos y evidencias de validación correspondientes.

El Adjudicatario, tres (3) meses antes de la puesta en servicio, deberá homologar al menos dos fabricantes de rodamientos.

2.9.5 Suspensiones

La suspensión del vehículo estará formada por dos etapas, primaria y secundaria, garantizando entre ambas un adecuado grado de confort en el departamento de pasaje y una correcta circulación del bogie tanto en curva como en recta, teniendo en cuenta las irregularidades de la vía y el gálibo máximo admisible en las líneas a las cuales se adscribirá el material rodante y las aceleraciones verticales máximas permitidas. La solución de la suspensión deberá ser validada por FMB.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá especificar el recorrido máximo de ambas suspensiones, que en total no deberá superar los 80mm.

2.9.5.1 Suspensión primaria

Durante toda la vida útil de la suspensión primaria, hasta el límite de pérdida de características, el Índice de Comodidad Media, NMV, definido y evaluado de acuerdo con la norma EN-12299, no será superior a 2 ($NMV \leq 2$). En fase de proyecto se deberán aportar cálculos por simulación incluyendo elementos en las condiciones degradadas de influencia en el confort (elementos elásticos rigidizados y/o perfiles de rueda desgastados). Dichas simulaciones deberán realizarse sobre datos de vía con calidad geométrica representativa de las vías de FMB. Se empleará un modelo validado a partir de los resultados de los ensayos de confort en condiciones nominales.

Estos elementos serán intercambiables entre sí, para los coches motores y remolques. Vendrán marcados con un número de serie, cargas admisibles, mes y año.

Se dispondrán entre la caja de grasa y la suspensión los elementos necesarios que permitirán el levante del bogie con los ejes suspendidos.

En el momento de entrega del tren, ningún resorte primario irá calado, excepto por las calas de fábrica que el Adjudicatario considere para lograr la altura nominal de resortes primarios en tara. No será necesario suplementar la suspensión primaria antes del primer ciclo largo.

El tope de la carrera a compresión de la suspensión, situado sobre la caja de grasa, estará provisto de un elemento de caucho a fin de evitar el contacto directo metal con metal.

La concepción y ensayos de los elementos de la suspensión primaria se conducirán teniendo en cuenta la norma UNE-EN 13913. El Adjudicatario, en fase de proyecto, suministrará a FMB las especificaciones técnicas de dimensionamiento, elaboración y ensayo establecidas para este producto.

Las suspensiones primarias deberán estar categorizadas y marcadas según fluencia para garantizar su intercambiabilidad.

2.9.5.2 Suspensión secundaria

La suspensión secundaria será neumática, y tendrá incorporado un sistema de regulación automática de altura en función de la carga.

La construcción de la suspensión secundaria estará provista de un dispositivo que permita ajustar fácilmente la altura del piso tras reperfilar las ruedas.

La suspensión secundaria deberá cumplir con la norma UNE-EN 13597 “Aplicaciones ferroviarias. Componentes de suspensión de caucho. Membranas de caucho para muelles de suspensión neumática”. El Adjudicatario, en fase de proyecto, suministrará a FMB las especificaciones técnicas de dimensionamiento, elaboración y ensayo establecidas para este producto.

Se indicará la frecuencia propia de la suspensión, la cual se mantendrá constante en cualquier condición de carga y circulación, así como los diagramas de flexibilidad vertical y transversal en los distintos estados de carga y datos de vida probable de la misma.

El diseño de la suspensión será de tal manera que deberán existir los elementos de seguridad necesarios para que, en caso de pérdida de presión en uno, o en la totalidad de las balonas, el tren pueda continuar su marcha hasta desalojar pasaje en la siguiente estación y posterior retiro a los talleres. En esta situación no se deben producir, aunque sea momentáneamente, inclinaciones anormales que no puedan ser absorbidas por los acoplamientos entre coches, o salirse del gálibo indicado en este Pliego, ni impedir el giro normal del bogie.

Se deberá demostrar la seguridad de marcha con balonas deshinchadas, incluyendo circulaciones en esta condición en los ensayos de comportamientos dinámicos, de acuerdo con la norma EN 14363.

La suspensión secundaria tendrá un tope mecánico de recorrido máximo vertical, que deberá garantizar en caso de excesivo hinchado de los balones, manteniendo la caja en los límites de seguridad. Este dispositivo permitirá levantar el bogie en el caso de descarrilamiento debiéndolo dejar girar libremente. También se preverá que pueda levantarse la caja hinchando los balones, para facilitar la colocación de los gatos de encarrilar.

La suspensión secundaria tendrá un sistema de detección de averías que genere un aviso de alarma al sistema informático del tren.

El bogie dispondrá de una llave de condena para que, en el caso de fuga de aire, no se provoque en ningún caso un descenso de presión en la instalación general por debajo de la presión mínima admisible para el funcionamiento correcto del resto de los equipos. Asimismo, se dotará al conjunto de una toma de presión que indicará la variación de la carga sobre la suspensión. Se contemplará la posibilidad de dotar a cada fuelle de la suspensión secundaria de una toma de presión.

2.9.6 Travesía bailadora

El apoyo de la caja sobre el bogie se realizará por medio de la travesía bailadora a través de la suspensión secundaria, que la unirá al bastidor del bogie y a una corona de unión para permitir el giro relativo de la caja sobre el conjunto bogie.

Para dimensionar la travesía bailadora serán aplicables los mismos criterios e hipótesis de cálculo que los indicados para el bastidor de bogie.

Se deberá adjuntar cálculo de la resistencia estática y a fatiga, teniendo en cuenta todas las posibles fuerzas actuantes.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, entregará los cálculos justificativos de duración de vida para las cargas previstas.

Se incorporarán dos bielas longitudinales para asegurar la transmisión de los esfuerzos de tracción y frenado, a nivel de centro de ejes de rodadura, estando equipadas de articulaciones elásticas para evitar la transmisión de ruidos y vibraciones a la caja. Los elementos elásticos de las articulaciones deben seguir los criterios de la norma UNE-EN 13913.

Se incorporarán topes de seguridad limitadores de giro e impactos transversales que impedirán que, en caso de descarrilamiento, se produzca un giro excesivo en el que puedan ser dañados elementos del bogie. Estos topes serán de actuación progresiva.

La lubricación de la corona será mediante grasa, para lo que la misma dispondrá de los correspondientes engrasadores fácilmente accesibles todos ellos desde el lateral de los coches.

2.9.7 Amortiguadores

El Adjudicatario en fase de proyecto indicará el tipo, número y función de los amortiguadores necesarios.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, remitirá el diagrama de funcionamiento (compresión/extensión) de cada amortiguador comparándolos con los esfuerzos dinámicos previstos y el tiempo de mantenimiento de estas características.

En caso de fallo de uno o varios amortiguadores nunca existirá pérdida de seguridad. Para mitigar las consecuencias de dicho fallo, se colocarán, independientemente de los amortiguadores, unos topes de caucho, de acción progresiva que limiten el desplazamiento transversal y longitudinal. Se deberá demostrar, en fase de proyecto, mediante ensayo que en las condiciones degradadas que se establezcan como resultado del análisis de modos de fallo, elaborado por el Adjudicatario, se mantiene la seguridad del comportamiento dinámico, de acuerdo con la norma EN 14363.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, suministrará a FMB las especificaciones técnicas de cada amortiguador, así como de las de sus articulaciones elásticas de caucho elaboradas conforme a los criterios de las normas UNE-EN 13680 y UNE-EN 13913, respectivamente.

2.9.8 Reductores

Los reductores deberán ser de una o dos etapas de reducción, a elección del Adjudicatario, siempre que se cumplan los requisitos de integración, rendimiento y mantenimiento establecidos en el pliego.

La disposición mecánica será tal que el eje del motor tenga la misma dirección que el eje de salida del reductor. No se admitirán configuraciones en las que el eje del motor y el eje de entrada del reductor estén alineados longitudinalmente con el sentido de marcha del tren.

La configuración de los engranajes, así como el acoplamiento entre el motor de tracción y el reductor, deberán garantizar un funcionamiento fiable en presencia de desalineaciones angulares o radiales, tanto estáticas como dinámicas, causadas por la flexibilidad o movimientos relativos de la suspensión primaria o secundaria.

El reductor estará dimensionado para transmitir los máximos esfuerzos de tracción y frenado, así como los esfuerzos que se deriven de vibraciones inducidas por los ejes en su rodadura.

Los esfuerzos de reacción originados en el reductor se absorberán a través de un brazo antipar que una el reductor con el bastidor del bogie.

Las reductoras serán perfectamente estancas en su totalidad, no debiéndose añadir aceite hasta el cambio de lubricante.

El reductor dispondrá de una tapa de visita para comprobación del estado interior de los engranajes, así como de los correspondientes tapones de vaciado, llenado y mirilla, que permita comprobar tanto el nivel de aceite como su coloración. Se marcarán los niveles máximo y mínimo. Esta mirilla dispondrá de tapa de protección. Uno de los tapones estará dotado de un sistema magnético de separación de partículas metálicas.

El conjunto Motorreductor, estará previsto para la transmisión de toda la potencia, tanto en tracción, como en freno, y podrá absorber cualquier nivel de desalineación entre con los elementos de sujeción (bogie-caja-motor), así como los choques y vibraciones procedentes de la rodadura sin verse afectado en su trabajo normal y no viéndose afectada la vida útil y los tiempos entre revisiones de este.

2.9.9 Equipo de freno en el bogie

El equipo de freno neumático será dimensionado en función de los estudios previos de capacidad de freno necesarios para cumplir con las prestaciones y características exigidas en este pliego.

El cálculo térmico de capacidad de energía de frenado considerará el reparto de esfuerzos entre freno eléctrico y freno de fricción en modo normal, identificando la energía disipada por cada componente disipador (discos/guarniciones, etc.), con parámetros validados mediante ensayo térmico en banco. El cálculo incluirá explícitamente el escenario de dos aplicaciones sucesivas de freno de emergencia desde la velocidad máxima en vía nivelada, para la condición de carga de frenado máxima, considerando como intervalo el tiempo necesario para volver a acelerar hasta $V_{m\acute{a}x}$. Asimismo, se evaluará el caso degradado de pérdida total del freno eléctrico, como condición más desfavorable para la fricción.

El Adjudicatario deberá determinar mediante cálculo, para la condición de carga de frenado máxima, el gradiente máximo, la longitud asociada y la velocidad de servicio para la que está diseñado el sistema de freno respecto a su capacidad térmica, manteniendo velocidad constante mediante freno de servicio. El tramo/punto de la red representativo del caso más desfavorable (mayor gradiente y tramo asociado) se definirá en fase de proyecto y será validado por FMB. Los resultados de cálculo deberán demostrarse en pruebas (según plan de ensayos/validación) en condiciones representativas del caso definido.

En términos generales, los elementos que constituirán el equipo de freno serán:

- Disco de freno.
- Cilindros de freno.
- Timonería.
- Guarniciones y zapatas de freno.
- Freno de estacionamiento.

2.9.9.1 Timonería

La timonería de freno deberá estar diseñada para transmitir el esfuerzo de frenado desde los actuadores neumáticos a los órganos de fricción de forma eficaz, equilibrada y robusta, con el mínimo mantenimiento posible y garantizando fiabilidad durante toda la vida útil del tren.

El Adjudicatario deberá indicar las medidas adoptadas para evitar la caída a la vía de cualquier elemento de la timonería en caso de rotura o aflojamiento accidental.

La geometría y disposición de los elementos deberán minimizar el juego mecánico, evitando ruidos, vibraciones o desgaste prematuro.

La timonería no interferirá con el movimiento del bogie ni con el acceso al resto de componentes para mantenimiento o inspección.

El sistema deberá asegurar una distribución simétrica y equilibrada del esfuerzo de frenado entre ambos lados del eje.

No será necesaria ninguna regulación intermedia en la timonería, incluso en caso de desgaste máximo de las guarniciones, manteniéndose el esfuerzo de frenado dentro de los márgenes establecidos.

La timonería de freno deberá estar diseñada para funcionar sin necesidad de lubricación periódica, mediante el uso de materiales autolubricantes, casquillos secos o soluciones equivalentes.

El sistema deberá estar concebido para mantener su funcionalidad sin intervención durante los intervalos normales de mantenimiento preventivo.

Todos los elementos móviles deberán estar protegidos frente a la acción de agua, suciedad, polvo, grasa, impactos de piedra u otros contaminantes.

Los materiales empleados deberán ser resistentes a la corrosión y la fatiga, incluyendo tratamientos superficiales adecuados como galvanizado, cataforesis o recubrimientos poliméricos, en función del entorno de operación previsto.

2.9.9.2 Cilindros de freno

Los cilindros o bloques de freno estarán instalados en lugares lo más accesibles posible, siendo fácil la sustitución de las zapatas (guarniciones), así como el cambio de los cilindros o bloques que podrán realizarse sin desmontar el bogie.

El juego entre zapata y disco se mantendrá constante gracias a la acción de un regulador que compense automáticamente el desgaste de las zapatas. El regulador estará incorporado en el cilindro o bloque de freno.

El interior de los bloques o cilindros deberá estar protegido contra la entrada de polvo, salinidad y corrosión.

Se dispondrá de frenos de estacionamiento, que deberán ir incorporado al propio cilindro normal de servicio, mediante un resorte que actúe cuando disminuya la presión de aire.

Los cilindros de freno de estacionamiento llevarán instalados un cable de conexión para el desbloqueo manual de freno desde la vía por ambos lados del tren, de un sistema para el desbloqueo desde cabina y de un sistema para detección de freno de estacionamiento aplicado. El esfuerzo máximo de accionamiento de estos tiradores de desbloqueo no será superior a lo indicado en la norma ISO 11228-1:2021 y UNE-EN 1005-3.

2.9.9.3 Disco de freno

Los discos estarán dimensionados de forma que puedan como mínimo soportar, sin deterioro, deformaciones, fisuras ni pérdida de prestaciones, tres procesos de frenado consecutivos del tren en condición de carga máxima o excepcional AW4 y desde la velocidad máxima.

La capacidad de disipación térmica de los discos y guarniciones de freno será justificada mediante cálculo conforme a UNE-EN 14531-1, considerando la indisponibilidad total o parcial del freno eléctrico en los escenarios degradados definidos por el Adjudicatario y aceptados por FMB.

En caso de avería del freno eléctrico, el sistema de freno neumático deberá garantizar las prestaciones necesarias para detener el tren de forma segura, incluyendo la realización de frenados de emergencia en condición de carga máxima y en las condiciones más desfavorables de explotación definidas para el cálculo.

Como mínimo, los discos y guarniciones deberán soportar sin daños, deformaciones, fisuras ni pérdida de prestaciones tres frenados de emergencia consecutivos desde la velocidad máxima del tren, en condición de carga máxima, considerando la indisponibilidad del freno eléctrico.

El Adjudicatario deberá justificar, mediante cálculo térmico y/o experiencia previa validada, que las temperaturas alcanzadas en discos y guarniciones no provocan daños ni pérdida de prestaciones de frenado en los escenarios definidos.

En caso de que la indisponibilidad del freno eléctrico implique restricciones de explotación, estas deberán estar justificadas, documentadas y ser compatibles con la operación segura del tren y con los procedimientos de FMB.

Los discos de freno estarán formados por dos partes. La interior calada al eje y la exterior atornillada y esta parte será sustituible sin necesidad de calar y descalar elementos del eje. El Adjudicatario, en fase de proyecto, presentará una memoria de las operaciones necesarias para esta sustitución y planos constructivos del disco partido.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá presentar el cálculo térmico del sistema de frenado neumático, que deberá ser validado mediante un ensayo en banco.

El Adjudicatario indicará en fase de proyecto las presiones de calado de los discos sobre el eje, incorporando éstos el correspondiente sistema de extracción.

2.9.9.4 Guarniciones y Zapatas de freno

Las zapatas serán sintéticas y no se aceptarán elementos contaminantes en su composición (amianto, plomo, zinc, etc.).

El Adjudicatario deberá entregar la ficha de seguridad y/o documentación equivalente del fabricante de las zapatas de freno, así como una declaración de conformidad REACH/CLP y de ausencia de amianto y sustancias prohibidas o restringidas. Dicha documentación deberá identificar cualquier sustancia peligrosa o SVHC presente, así como los riesgos derivados de su manipulación, desgaste, generación de polvo, sustitución y gestión como residuo.

FMB podrá rechazar, sin coste para FMB, cualquier zapata de freno cuya composición o comportamiento por desgaste pueda generar riesgos no aceptables para la salud del personal de operación o mantenimiento.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, adjuntará las curvas en las que se indiquen las características del coeficiente de fricción con la temperatura, velocidad, presión específica, etc. Éstas deberán haber sido evaluadas mediante un ensayo tomando como base las prescripciones de la ficha U.I.C 541-03.

La calidad de las zapatas cumplirá con los estándares y normas del mercado europeo. En fase de proyecto se deberán proporcionar las características de las mismas (temperaturas admisibles de pico y régimen permanente, desgaste, etc.), que deberán ser válidas para la aplicación, en base a los cálculos térmicos a entregar.

Las zapatas quedarán ajustadas perfectamente para que no tengan holgura y no provoquen desgastes prematuros y su montaje y desmontaje deberá poder efectuarse de forma rápida y sencilla.

2.9.10 Zapata de limpieza

Los bogies llevarán instaladas una zapata de limpieza para cada rueda que cubra toda la banda de rodadura. Su función será la limpieza de la zona de rodadura de la rueda.

El Adjudicatario deberá entregar la ficha de seguridad y/o documentación equivalente del fabricante de las zapatas de limpieza de rueda, así como una declaración de conformidad REACH/CLP y de ausencia de amianto y sustancias prohibidas o restringidas. Dicha documentación deberá identificar cualquier sustancia peligrosa o SVHC presente, así como los

riesgos derivados de su manipulación, desgaste, generación de polvo, sustitución y gestión como residuo.

FMB podrá rechazar, sin coste para FMB, cualquier zapata de limpieza de rueda cuya composición o comportamiento por desgaste pueda generar riesgos no aceptables para la salud del personal de operación o mantenimiento.

La zapata se autoajustará automáticamente en todo su recorrido en función de su desgaste y reperfilado de rueda.

2.9.11 Sistema de detección de descarrilo

El tren estará diseñado para un nivel de automatización GoA4, por lo que se deberá prever, desde la fase de ingeniería de proyecto, la futura implantación de un sistema de detección de descarrilamiento, que cumpla los requisitos funcionales y de seguridad asociados a dicho nivel de automatización.

El diseño del tren deberá contemplar la integración de un sistema de detección de descarrilo sin necesidad de modificaciones estructurales en el futuro.

La disposición de elementos mecánicos, eléctricos y de control deberá permitir una integración directa del sistema completo.

Todos los trenes incluirán desde su fabricación una preinstalación completa del sistema de detección de descarrilo, que incluirá:

- Cableado de alimentación y señal,
- Conectores,
- Canalizaciones y protecciones,
- Interfaces con el sistema de control y freno del tren,
- Anclajes estructurales o puntos de fijación para los sensores y módulos asociados.

El sistema previsto deberá ser capaz de realizar la detección individual por eje, permitiendo identificar de forma precisa el bogie o coche afectado.

El diseño e implementación del sistema (incluida su futura implantación) deberá cumplir con la norma UNE-EN 62267, y considerar la seguridad funcional conforme a EN 50126 y EN 50129.

Se valorará el precio del sistema de detección de descarrilos no se incluirá la parte preinstalada del sistema en el tren descrita anteriormente en este apartado. El precio ofertado a valorar del sistema de detección de descarrilo se incluirá necesariamente:

- Acopio, montaje e instalación de los detectores de descarrilo, incluyendo:
 - Instalación de soportes atornillados en la caja de grasa del eje.
 - Montaje de sensores en dichos soportes con ajuste en altura.
 - Conexionado eléctrico con el cableado preinstalado.
 - Instalación de conversores y relés de descarrilo.
- Integración de la señal de descarrilo con el lazo de emergencia mediante relés temporizados.
- Análisis de seguridad y cálculo estructural de soportes (por elementos finitos), conforme a normativa vigente (p. ej. EN 61373, GRMT 2100).
- Compatibilidad electromagnética de los equipos (EN 50121, EN 61000-4-3).
- Cumplimiento de normas de equipos embarcados (EN 50155).
- Cumplimiento de requisitos medioambientales (materiales no tóxicos, pintura e imprimación anticorrosiva).
- Autodiagnóstico del sistema, incluyendo:
 - Supervisión activa del estado de los sensores (detección de fallos o valores permanentes).
 - Generación de eventos de diagnóstico en el sistema informático.
- Incorporación de funcionalidades de anulación del sistema desde cabina (pulsador de bypass y telemando), con registro en la caja negra.
- Registro de eventos: detección de descarrilo, aplicación de freno de emergencia, anulación del sistema, fallos de sensores o relés, entre otros.
- Pruebas de puesta en marcha del sistema, incluyendo:
 - Validación funcional.

- Verificación de conexiones y parámetros.
- Comprobación de actuación del lazo de emergencia.

El Adjudicatario deberá entregar en fase de proyecto:

- Entrega de dossier de seguridad del sistema, incluyendo:
 - Manual técnico.
 - Resultados de ensayos y certificaciones.
 - Detalles de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Descripción funcional del sistema completo.
- Arquitectura técnica detallada.
- Lista de elementos necesarios: sensores, relés, módulos de conexión, convertidores DC/DC, cableado, puntos de conexión, etc.
- Esquemas de integración con el sistema de freno, el lazo de emergencia y el sistema de informático del tren.
- Justificación técnica de compatibilidad con el tren, seguridad funcional.

Una vez implantado, el sistema de detección de descarrilo deberá ser capaz de detectar el evento de forma autónoma y activar automáticamente una frenada de emergencia, incluso en ausencia de tensión principal.

Asimismo, deberá generar una señal de alarma que será transmitida al sistema de monitorización del tren, con indicación del coche y bogie afectados.

2.10 ENGANCHES (I)

En cada tren existirán dos tipos de acoplamientos:

- a) Acoplamiento automático, que servirá para acoplar trenes. Deberá realizar el acoplamiento mecánico y neumático.
- b) Acoplamiento semipermanente, entre los coches que forman el tren. Deberá realizar el acoplamiento mecánico, neumático.

Los coches unidos mediante enganches semipermanentes irán dotados de dos sirgas de seguridad que no permitan el desacople y caída del pasillo de intercirculación, en caso de rotura del enganche.

2.10.1 Enganche automático

Estos enganches se situarán en los testeros extremos del tren, su misión será acoplar trenes mecánica y neumáticamente de forma automática. El enganche no dispondrá de botonera.

Los acoplamientos cumplirán la norma U.I.C 522.

Se dispondrá de sirgas con sus correspondientes puntos de anclaje en caja como doble seguridad en caso de que fuera necesario el remolcado de un tren. Las sirgas y los barrones de arrastres serán compatibles y podrán instalarse a la vez.

El acoplamiento se efectuará con un tren parado y el otro a velocidad inferior a 5 km/h.

Para desacoplar se accionará un dispositivo disponible en el puesto de conducción para tal efecto y podrá retirarse libremente el tren. Por consiguiente, una única persona podrá efectuar ambas maniobras sin abandonar el puesto de conducción.

Las maniobras de acople o desacople podrán realizarse en curvas de 50 m de radio y rectas con cambio de rasante y acuerdos verticales de 1000 m de radio. En fase de proyecto se indicarán las posiciones límites que puedan tomar los enganches automáticos, semipermanentes o sistemas equivalentes por inscripción en curvas, curva-contracurva, recta-curva, así como por los desplazamientos relativos caja-bogie debidos a las deflexiones de las suspensiones y los desgastes de ruedas.

El acoplamiento dispondrá de un sistema de guiado y sustentación que lo mantendrá en posición constante en las testeras libres (auto centrado vertical).

Los acoplamientos llevarán cuernos guías para su auto centrado en la operación de acoplado. Dichos cuernos guías estarán correctamente protegidos y pintados de un color que permita ser identificado fácilmente evitando así golpes. El color definitivo será definido por FMB en fase de proyecto.

En el sentido longitudinal existirán elementos elásticos, indeformables en servicio normal, tipo elastómero, homologados por la U.I.C. Además, dispondrán de los elementos elásticos adecuados capaces de absorber los esfuerzos del servicio con pasaje.

Se dispondrá de los dispositivos necesarios para impedir que se produzcan desacoplamientos intempestivos en los trenes durante la marcha, con independencia del estado de la vía u otros factores y en caso de producirse, quedarán frenadas ambas partes.

El modelo de enganche automático deberá asegurar la compatibilidad con el material rodante existente en FMB, con el que se deberán acoplar las nuevas unidades en las operaciones de socorro.

Existirá una llave de aislamiento accionable desde el interior de la cabina contigua, para el aislamiento de la tubería única que atraviesa el enganche.

El enganche automático instalado de forma permanente realizará también la función de enganche de rescate de la unidad.

A efectos de las operaciones de socorro/rescate, el sistema de acoplamiento contemplará el acoplador automático instalado de forma permanente, y la utilización a la vez del barrón de arraste y sirgas, garantizando compatibilidad y condiciones de operación durante el rescate.

Una vez efectuado el acoplamiento para socorro, el enganche permitirá operaciones de rescate/remolcado a una velocidad de al menos 30 km/h.

En modo socorro/rescate, el sistema de acoplamiento dispondrá de aseguramiento mecánico que impida su liberación involuntaria durante la operación (tracción/compresión y vibración), garantizando que no pueda soltarse durante el rescate.

Para casos de emergencia y cuando por algún motivo no sea posible acoplar dos coches de la misma serie o distinta, se preverán unas barras de acoplamiento que quedarán sujetas a ambos vehículos por medio de un bulón. El lugar donde se aloje la barra deberá resistir un esfuerzo capaz de remolcar otro tren en tara.

En caso de rescate mediante barras/adaptador, las operaciones de colocación/retirada del dispositivo y conexión/desconexión de mangueras se realizarán solo con ambos trenes inmovilizados y frenados, con medidas que impidan movimiento inadvertido, sin requerir presencia de personal entre testers mientras alguno esté en movimiento.

El Adjudicatario suministrará las barras para poder acoplar de emergencia con cualquiera de las series actuales que dispone FMB.

El Adjudicatario especificará en fase de proyecto las características principales del enganche, según el siguiente índice:

- Esfuerzo máximo a tracción de la cabeza: _____ kN
- Esfuerzo máximo a compresión sin deformación permanente: _____ kN
- Carrera a tracción y compresión del sistema elástico: _____ mm
- Energía absorbida elásticamente (a tracción y compresión): _____ kJ
- Absorción del sistema de impactos: _____ kJ
- Carrera del sistema de impactos: _____ mm
- Máximo ángulo en el plano vertical: +/- _____ °
- Máximo ángulo en el plano horizontal: +/- _____ °
- Margen de actuación del centrador: +/- _____ °

Los enganches deberán soportar o estar protegidos para que los lavados del tren no les afecten.

2.10.2 Enganche semipermanente

El acoplamiento o desacoplamiento de los coches de un tren, se efectuará normalmente en taller, aunque se preverá la posibilidad de realizarlo en línea, en caso necesario.

El acoplamiento se realizará con los coches parados y admitirá una diferencia de cotas entre enganches de 100 mm.

El acoplamiento mecánico se concebirá como unión embridada de dos semiacoplamientos, que comprende el guiado mecánico y las boquillas neumáticas.

Se deberá poder intercambiar el enganche semipermanente sin necesidad de desmontar otros equipos o desacoplar eléctricamente los coches.

El Adjudicatario especificará en fase de proyecto las características principales de este tipo de enganches, según el siguiente índice:

- Esfuerzo máximo a tracción: _____ kN.
- Esfuerzo máximo a compresión sin deformación permanente: _____ kN.
- Carrera a tracción y compresión del sistema elástico: _____ mm.
- Energía absorbida elásticamente (a tracción y compresión): _____ kJ.

- Absorción del sistema de impactos: ____ kJ.
- Carrera del sistema de impactos: ____ mm.
- Máximo ángulo en el plano vertical: +/- ____ °
- Máximo ángulo en el plano horizontal: +/- ____ °
- Margen de actuación del centrador: +/- ____ °

2.11 CAJA (J)

2.11.1 General

La estructura de la caja será de aluminio.

Los cabeceros, el bastidor, las paredes laterales, los testeros y el techo de la caja se elaborarán como conjuntos previamente soldados. Posteriormente, estas secciones se ensamblarán a través de uniones soldadas, formando una estructura autoportante definitiva.

Los cálculos de resistencia de la caja se basarán en condición de carga nominal AW3 para resistencia estática y el estado de carga nominal para resistencia a la fatiga.

La flecha máxima de la caja deberá ser inferior a 1/1000 de la distancia entre pivotes, en condición de carga nominal AW3.

La estructura de la caja cumplirá con todos los requisitos indicados en la norma UNE-EN 12663-1 "Requisitos de dimensionamiento de las estructuras de los vehículos ferroviarios. Parte 1. Locomotoras y material rodante de viajeros (y método alternativo para vagones de mercancías)." para vehículos de categoría P-III.". El cumplimiento de dichos requisitos deberá ser demostrados en banco de ensayos en la fabricación de la primera caja".

Las cajas estarán equipadas con dispositivos absorbedores de impactos (anti-climbers) en la parte delantera y trasera que puedan resistir una colisión frontal con daños limitados en la caja (estructura) de acuerdo con la norma UNE-EN 15227: "Protección pasiva frente a choques frontales", según los cuales el vehículo de FMB se clasifica en la categoría CII.

La caja del vehículo debe poder soportar las siguientes fuerzas:

- Fuerzas resultantes de la propia masa del vehículo más la carga máxima.
- Fuerzas resultantes de los ciclos de carga y descarga.
- Fuerzas dinámicas resultantes de acelerar, frenar, acoplar y remolcar.
- Fuerzas inducidas por las irregularidades y el trazado de la vía.
- Fuerzas que surgen durante el levantamiento y encarrilamiento de la caja del vehículo.

Se adoptarán soluciones estructurales que favorezcan la reducción de peso a fin de optimizar en lo posible el gasto energético, sin menoscabo de la resistencia, de las condiciones de seguridad estructural para el pasajero en caso de colisión frontal o lateral y del confort del vehículo.

El Adjudicatario deberá realizar los cálculos de verificación con respecto a la resistencia mecánica y las propiedades de vibración de la caja. Los cálculos de resistencia se realizarán utilizando Métodos de elementos finitos (FEM). Los resultados de estos cálculos se describirán en un informe que se deberá proporcionar a FMB en fase de proyecto. La validación del cálculo de la estructura de caja se realizará mediante los correspondientes ensayos extensiométricos durante las pruebas de validación.

Durante las pruebas dinámicas en vía de la Unidad prototipo en condición de carga nominal AW3, tres cajas (un MA, un MB y un R), se monitorizarán con galgas extensiométricas en los puntos de máxima sollicitación mecánica para verificar que el nivel de esfuerzos y tensiones no superan a los valores de diseño y cálculo.

La frecuencia propia de la caja debe estar lo suficientemente alejada de las frecuencias de servicio y suspensiones, con objeto de evitar fenómenos de resonancias.

Todos los elementos exteriores e interiores del Vehículo deben construirse de forma tal que no puedan soltarse accidentalmente o romperse, excepto en caso de vandalismo extremo. Esto se aplica a elementos como equipos de techo, trampillas de techo, barras de soporte, pasamanos de interior.

Los requisitos estructurales para equipos y los elementos fijados a la estructura de la caja deberán cumplir los requisitos de la norma EN 12663-1.

Los elementos y sistemas suspendidos debajo de la caja deben estar asegurados contra un fallo de su sujeción de una manera doble e independiente.

Deberán instalarse al menos 2 puntos de elevación a extremos de cada caja, así como dos puntos suplementarios por lado a extremos de cada bogie que permita la elevación segura de la caja para tareas de mantenimiento. Cada uno de los puntos se marcará de manera identificable con adhesivos estándar. Estos puntos estarán convenientemente reforzados y se marcarán de manera identificable con adhesivos estándar. El marcado de los puntos de elevación se realizará mediante signos conforme UNE-EN 15877-2:2013.

La geometría de los puntos de levante será conforme a UNE-EN 16404:2016.

Se garantizará espacio suficiente bajo y alrededor de cada punto de levante para la instalación de gatos/útiles de rescate. El diseño y señalización de los puntos de elevación se realizará de forma que el personal no esté expuesto a riesgos indebidos en condiciones de funcionamiento normal ni durante el uso de equipos de rescate (accesibilidad segura y sin zonas de atrapamiento/cizallamiento asociadas a la operación).

La capacidad de carga requerida por punto de elevación de la caja debe ser como mínimo la de tara del coche acabado con todos los equipos montados y coche acabado, junto con el peso del bogie completo y estarán debidamente calculados de tal forma que no se produzcan aplastamientos ni deformaciones en los largueros de caja.

Los puntos de levante deberán ser accesibles desde la perpendicular a tierra de dicho punto sin que sea necesario desmontar ningún equipo u/o elemento del tren ni exista ningún tipo de obstáculo o interferencia. La ubicación final deberá ser validada por FMB.

La sección transversal útil de las cajas será la máxima posible respetando el gálibo cinemático del tren, de forma que la capacidad de pasaje sea óptima.

Durante el ciclo de vida de las unidades de tren, considerando un uso permanente y nominal, no aparecerán fisuras en ningún elemento estructural de la caja, ni de soportería ni en soldaduras. Los desgastes de los materiales no comprometerán la integridad de los elementos estructurales de la caja ni se llegará a su límite de fatiga.

La superposición de placas y perfiles no se utilizará, a menos que se demuestre que no es posible la corrosión en esas circunstancias.

Las matrices y moldes de fabricación quedarán a disposición contractual de FMB, durante un período no inferior a 25 años.

Se incluirán puntos de anclaje para la sujeción de elementos resistentes que eviten que en caso de desacople o rotura del enganche, protejan el desprendimiento o rotura del pasillo. El Adjudicatario en fase de proyecto presentará el estudio del cálculo de las sirgas que demuestre que se cumple con este requerimiento. Se deberán incluir también puntos de anclaje para la instalación de sirgas de seguridad entre trenes.

En la geometría del bastidor se deberán incluir elementos que aseguren la función de barrera ignifuga del cual se deberá presentar a FMB un estudio justificativo de la idoneidad de la solución, en fase de proyecto.

No se permitirá la utilización de los largueros como paso de cableado. Los cableados deberán presentar sus propias canalizaciones.

Las curvas de fatiga, categorías de detalle, hipótesis de cálculo y criterios de análisis se establecerán preferentemente conforme a normas europeas reconocidas, en particular EN 1999 para estructuras de aluminio y EN 1993 para estructuras de acero, según el material, tipo de unión, detalle constructivo y proceso de fabricación considerado.

Cuando las normas anteriores no cubran suficientemente un material, unión, detalle constructivo o condición de fabricación concreta, se admitirán metodologías complementarias basadas en DVS 1608 para aleaciones de aluminio, DVS 1612 para acero y FKM Guidelines, siempre que el Adjudicatario justifique su aplicabilidad y coherencia con el diseño propuesto.

El Adjudicatario deberá documentar en fase de proyecto la metodología de cálculo de fatiga adoptada, las curvas empleadas, las categorías de detalle consideradas, los coeficientes de seguridad, las hipótesis de carga, los ciclos de vida utilizados y las zonas críticas analizadas. Cualquier alternativa deberá documentarse en fase de proyecto, incluyendo la equivalencia técnica de las curvas de fatiga, clases de detalle, coeficientes parciales, hipótesis de carga, vida de diseño y márgenes de seguridad resultantes.

El proyecto se planteará con los siguientes objetivos:

- Reducción de la tara de la caja, resultando un ahorro de energía.
- Nivel de solicitaciones más bajo, con distribución más uniforme en toda la estructura.
- Máximo de soldaduras automáticas de la mayor calidad.
- Empleo de aleaciones con buena resistencia a la corrosión.
- Máxima seguridad para los pasajeros en caso de colisiones.
- Seguridad ante posibles caídas de catenaria en cubierta y fusión metálica de la misma.
- Estudio de la caja, del interiorismo y de la integración de componentes, con el fin de garantizar el empleo óptimo de perfiles, provistos ya con todos sus raíles y guías para facilitar el montaje de todos los aparatos.

La planitud transversal del planchón o suelo del bastidor de la caja deberá tener una planitud que permita conseguir la planitud solicitada con los requerimientos de pavimento instalado.

2.11.2 Tratamiento superficial.

2.11.2.1 Pintura

El sistema de pintura exterior deberá ser específicamente apto para aplicación ferroviaria y adecuado para las condiciones de explotación previstas en FMB, incluyendo lavado automático frecuente, exposición ambiental exterior, radiación UV, abrasión, contaminación y eliminación periódica de grafitis mediante productos químicos específicos.

El sistema de pintura deberá garantizar elevada resistencia mecánica, química y cromática, así como facilidad de limpieza y mantenimiento durante toda la vida útil prevista.

La solución propuesta deberá incorporar protección anti-grafitis permanente o semipermanente, compatible con los procedimientos habituales de limpieza de FMB.

Se utilizarán soluciones de bajo impacto ambiental, siempre que cumplan los requisitos de durabilidad, mantenibilidad y resistencia exigidos en este Pliego.

La calidad, composición y número de capas del sistema de pintura deberán garantizar, como mínimo, la conservación funcional y estética del acabado exterior durante un periodo no inferior a diez años en condiciones normales de explotación y mantenimiento.

El Adjudicatario deberá justificar mediante ensayos y experiencia en explotación ferroviaria la compatibilidad del sistema de pintura con los túneles automáticos de lavado, detergentes, productos anti-grafitis y procedimientos de mantenimiento previstos por FMB.

El proceso de pintura deberá ser el normal siempre y cuando cumpla el requisito la última capa del esquema de pintura propuesto por el Adjudicatario para poder sustituir el vinilo sin deterioro de las capas de pintura inferior. Los colores de la pintura aplicada a los coches deberán respetar el diseño aprobado por FMB en fase de proyecto independientemente a la aplicación de vinilos.

Se deberán entregar probetas de prueba de tamaño A3 con el sistema de pintura. El Adjudicatario, en fase de proyecto, demostrará la resistencia de la pintura a la eliminación de vinilos y pegatinas. Estas pruebas deberán ser validadas por FMB.

La pintura deberá ser aprobada por FMB, para ello el proveedor deberá documentar los siguientes puntos:

- Calidad de la pintura a utilizar.
- Tratamiento previo de la superficie.
- Gruesos de la capa de pintura.
- Tiempos de secado por capa.
- Métodos de aplicación y secado de las capas de pintura.
- Método de limpieza (método, productos, resistencia a lavados automáticos, ...).
- Resistencia al fuego.

El sistema de pintura debe garantizar un nivel de calidad mínimo equivalente al de AFNOR NF F19-141 y ISO 12944 y deberá ser aprobado por FMB.

Los criterios de aceptación deberán ser aprobados por FMB durante la fase de fabricación y con el primer tren de la serie.

No se aceptarán defectos por el hecho de ir vinilado el tren. FMB por necesidades de operación, puede operar los trenes sin vinilar.

La capa de pintura debe ser capaz de resistir:

- Lavados repetidos mediante túnel de lavado con cepillos.
- La aplicación y eliminación de vinilos.
- Aplicación de detergentes.
- El efecto de los rayos UV.

Se aplicará protección anticorrosiva a todos los elementos estructurales de la caja y a los equipos del tren, cubriendo tanto sus superficies internas como externas.

Se implementarán tratamientos preventivos en todas las zonas propensas a desarrollar corrosión filiforme.

Se aplicará un tratamiento preventivo en todas las uniones entre elementos de distinta naturaleza que sean susceptibles de corrosión galvánica. La norma DIN 25201-5 (o similar) servirá de referencia para este propósito.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, proporcionará el proceso de reparación para todos los supuestos y aplicaciones de la pintura de este proyecto.

No estará permitido realizar reparaciones sobre la pintura exterior y/o exterior del tren, con pulverizadores y sin aplicar el esquema de pintura aprobado en fase de proyecto.

2.11.2.2 Vinilo

El interior y el exterior de los coches deberá estar protegido con vinilo o pintura anti-grafitis en las zonas que no se puede aplicar vinilo, que deberá mantener sus propiedades de limpieza durante 5 años o 50 aplicaciones de productos quita-grafitis. El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá realizar una propuesta de vinilado interior que cumpla entre otros puntos los siguientes:

- El interior de las puertas de pasaje deberá laminarse con una lámina anti-scratching. Esta lámina deberá ser transparente y de 100 micras de espesor adecuado para superficies planas con curva en una única dirección.
- Los vinilos del interior de las ventanas, incluida la ventana de las puertas, serán de una única pieza y se ajustarán hasta 2 mm al contorno de la junta de goma del marco de la ventana.
- Los extremos de los coches (tabique cabina) se deberán vinilar. Se instalará un material altamente resistente en las tachaduras, protecciones y manchas. A de tener tecnología auto reparadora
- Las láminas se pegarán ajustándose hasta 2 mm al contorno de la junta de goma del marco de la ventana

Se deberán vinilar los anticlimber y su revestimiento, así como las superficies laterales exteriores inferiores que quedan por debajo de la altura de las pisaderas incluyendo largueros y cabeceros, laterales de caja.

En fase de proyecto el Adjudicatario deberá demostrar que el vinilo cumple, como mínimo, los siguientes criterios de aceptación:

- Alineación entre dos piezas menor a 3 mm.
- Continuidad entre dos láminas menor a 3 mm.
- No habrá cortes irregulares en el corte de las láminas.
- Solapes entre láminas deberá estar comprendido entre 4 y 10 mm. El vinilo superior cubrirá al inferior para evitar posibles entradas de agua.
- Deberá haber una ausencia de pliegues en las partes visibles de las láminas.
- No se aceptarán recortes.
- No deberán existir esquinas en punta (ángulo inferior a 90°). El radio mínimo será de 3 mm.
- No deberán existir burbujas en lo vinilos con un diámetro superior a 3 mm y deberán haber menos de 5 burbujas en un círculo de diámetro de 50 mm.

- Tras la aplicación de la lámina, no podrá producirse ningún tipo de transparencia a través de ésta. Es decir, restos de cualquier producto en la chapa no podrán verse una vez aplicada la lámina.
- El vinilo deberá ser, libre de PVC, con etiqueta ECO Greenguard, del tipo antiestático para evitar que la suciedad se adhiera por el efecto de la electricidad estática. El tipo de vinilo a instalar en los trenes, que cumpla con esta característica, deberá ser aprobado por FMB en fase de proyecto.
- El aplicador del vinilo deberá estar homologado por el fabricante del vinilo, para poder instalarlo en los trenes de FMB.
- Los vinilos deberán tener garantía de 10 años.
- Los vinilos para uso interior en el coche deben ser altamente resistentes a las rayadas y con propiedades auto regenerativas para pequeñas rayadas o daños menores.

FMB deberá aprobar, en fase de proyecto, la aplicación y los vinilos propuestos (interior y exterior), propuestos por el Adjudicatario antes de su instalación.

En todo el proceso no se deben usar elementos cortantes, si fuese necesario, se deberá especificar en qué zonas. Se utilizará tecnología con hilo de corte, para evitar el uso de herramientas punzantes.

Se deberá cubrir sin solapes aquellas zonas en las que las dimensiones del material lo permitan. Se deberá vinilar en una sola pieza y sin solapes las puertas de pasaje y puertas de acceso personal de conducción.

Se empleará material conformado en aquellas zonas que se requiera por curvatura en la superficie (zona de testeras...). En la fase de proyecto se presentará a FMB en qué zonas se aplicará este material para su aprobación final.

El Adjudicatario integrará los logos externos corporativos, pictogramas y numeración de los coches. FMB facilitará el modelo de cada una de las pegatinas que deben ir en los trenes y su ubicación en fase de proyecto.

Las láminas deberán ser compatibles con el tipo de acabado de los trenes y deberán respetar los colores según el RAL que se defina en fase de proyecto.

La lámina debe cumplir con:

- Resistencia anti-grafitis G1 según Norma NF F31-112.
- Clasificación al fuego y humo según Norma UNE-EN 45545.
- Resistencia química a aceites grasas, ácidos, alcoholes, disolventes orgánicos e hidrocarburos, acetonas, éter y compuestos clorados.
- Resistencia a la corrosión.
- Certificado de instalador homologado por el fabricante de la lámina.
- Carta o documento firmado por el Adjudicatario conforme certifica la garantía ofrecida por el instalador para esa aplicación determinada.
- Garantía de 10 años.
- Lámina extruida de calidad premium libre de PVC, de 50 micras de grosor, pegatina acrílica activable por presión y con tecnologías que faciliten el deslizamiento en seco sobre la superficie de aplicación y permita la evacuación del aire entre la pegatina de las láminas y el sustrato de aplicación; con un rango de temperaturas de trabajo entre -60 °C y +107 °C. Imprimida con tintas homologadas por el fabricante de las láminas.
- Láminas Protectoras Anti-grafitis Conformables 3D para superficies tridimensionales, permitirá conformabilidad-flexibilidad para aplicaciones en superficies curvas, de 30 micras de grosor y pegatina transparente sensible a la presión y un rango de temperatura de trabajo de -54 °C – 93 °C. Con acabados brillo o mate.
- Lámina Protectora Anti-grafitis aplicaciones 2D Láminas anti-grafitis de Poliéster para superficies planas o ligeramente curvadas, con un grosor de 25 micras, con pegatina transparente sensible a la presión y un rango de temperatura de trabajo de -54 °C – 93 °C. Con acabados brillo o mate.
- Limpieza: El vinilo evitará que la suciedad se adhiera por el efecto de la electricidad estática. Durante la fase de proyecto se entregará el certificado del fabricante y una muestra de 1 m² que tendrá que estar instalado en un tren de la flota de FMB durante un mes. A finalizar se tendrá que demostrar que cumple con el requerimiento solicitado.

En fase de proyecto el Adjudicatario debe entregar la documentación que demuestre que las láminas de vinilo a montar en los trenes cumplen los puntos anteriores.

2.11.2.3 Acabados y protecciones

Deberá indicarse mediante perspectivas, vistas parciales, etc. el aspecto tanto interior como exterior del tren, determinando FMB el diseño que considere más idóneo. FMB participará en la elaboración del diseño.

Todos los colores vendrán definidos según normas UNE.

Las partes por pintar, no viniladas, se someterán, antes de su aplicación, a un proceso de desoxidación total y limpieza de polvo acumulado durante la construcción y desengrase.

Todos los elementos de la estructura se protegerán contra la corrosión por medio de una pintura de características y espesor adecuados.

La parte interior de la caja será pintada con una capa de imprimación para ayudar a la protección y durabilidad del interior de las cajas.

El aislamiento de la caja de pasaje debe reducir el intercambio de calor y reducir el ruido y vibraciones con el exterior. El aislamiento deberá estar correctamente fijado, no siendo posible el desprendimiento de este.

Todo el bajo bastidor y los equipos en él montados, se protegerá con pinturas y productos que preserven de las agresiones de proyecciones de aguas calizas o de otros agentes. El diseño bajo bastidor será de tal manera que evite la entrada y acumulación de agua en equipos, largueros, travesaños de sujeción de equipos, ...

2.11.3 Armarios, cofres y canalizaciones

El interior de los cuadros eléctricos irá rotulado con la señal de riesgo eléctrico. Todos los equipos, elementos tipo relés, térmicos, ... montados en los interiores de armarios y cofres deberán ir identificados mediante chapa troquelada correspondiente indicando el nombre y su codificación.

Las caras interiores de las puertas de armarios, cofres, registros y compartimentos técnicos deberán disponer igualmente de un acabado superficial final adecuado para uso ferroviario, homogéneo y resistente, no admitiéndose superficies en bruto, galvanizadas vistas, imprimaciones visibles ni acabados provisionales.

El acabado interior deberá garantizar una correcta protección frente a corrosión, facilidad de limpieza y una apariencia acorde con la calidad global del vehículo, incluso en condiciones normales de mantenimiento y apertura frecuente de los armarios.

El Adjudicatario definirá en fase de proyecto el tratamiento superficial y acabado aplicable a las superficies interiores visibles de puertas y registros técnicos.

Se evitarán acabados interiores de aspecto industrial o no tratados superficialmente en elementos accesibles durante operaciones normales de mantenimiento.

Todos los armarios, cofres y equipos eléctricos dispondrán de una chapa troquelada situada en un sitio visible según su ubicación en tren, que indique el nombre del equipo y el peso.

Todos los armarios, cofres y compartimentos del tren deberán incorporar juntas de goma u otro material elastomérico equivalente en sus puertas o tapas, con el objetivo de garantizar un cierre eficaz, reducir ruidos y minimizar las vibraciones derivadas del movimiento del tren durante la circulación.

Estas juntas deberán:

- Estar firmemente fijadas al marco o puerta correspondiente.
- Mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo, sin deterioro por fatiga, temperatura o agentes externos.
- Mejorar el confort acústico del personal de operación y pasaje.

Todos los subconjuntos de estos armarios y cofres de peso superior a 25 Kg estarán debidamente indicados mediante una chapa troquelada específica.

Para el caso que existan subconjuntos superiores a ese peso, tres (3) meses antes de la entrega del primer tren a FMB, el Adjudicatario suministrará las instrucciones y en su caso las herramientas necesarias, para el desenganche, extracción y transporte de estos módulos.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, emitirá propuesta a FMB del sistema de enganche/desenganche de cofres bajo bastidor, para su verificación, y dichos subconjuntos o equipos deberán disponer de:

- Los equipos se deberán poder desmontar de manera segura y evitando el trabajo bajo cargas que no puedan ser aseguradas para evitar su desplome.

- Se debe documentar tres (3) meses antes de la entrega del primer tren a FMB, por el Adjudicatario en lo referente a las actividades de mantenimiento las medidas de seguridad a aplicar, las herramientas, utillajes a emplear.
- Se incluirán puntos de anclaje certificados para cáncamos, ganchos, eslingas y accesorios, garantizando la elevación segura de equipos, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 1215/1997, el Reglamento (UE) 2023/1230 sobre máquinas y demás normativa técnica aplicable en materia de seguridad de equipos de trabajo y elevación.
- Agujero de las roscas de elementos de elevación (Cáncamos) deben estar perpendicular al eje de trabajo.
- Equipos accesibles al mantenimiento. Máximo peso final a desplazar por un trabajador han de cumplir lo definido según el real decreto 487/1997.
- Consignas de almacenamiento y transporte de manera segura para los equipos de parque. Si son necesarias estructuras de transporte y almacenamiento específicas deberán poseer los correspondientes certificados, (marcado CE y documentación de cada uno de ellos, manual de uso).
- Se deberá evitar el uso de utillajes y herramientas especiales para el mantenimiento y reparaciones, si no es posible tendrán consideración de útil especial y deberá ser aportado por el Adjudicatario, tres (3) meses antes de la entrega del primer tren a FMB, con su correspondiente marcado CE, declaración de conformidad, manual de uso y mantenimiento y adecuación según lo indicado en el RD 1215/97.
- Rotulación de todos los accionamientos, aparatos y equipos bajo bastidor de modo que el personal de conducción y de mantenimiento pueda reconocer fácilmente su función, así como las indicaciones de seguridad correspondientes. La rotulación se efectuará de forma que pueda limpiarse sin crear desgaste ni perder calidad de lectura.
- En cofres de gran tamaño y peso deberá disponerse de desarrollo de sistema de sujeción en tren cuyo montaje y desmontaje deberá ser efectuado en condición de eliminar el factor de cargas suspendidas, a través de ensambles en condición horizontal, enganches automáticos, y otros que eliminen el factor de disponer de la presencia de personal en la inmediatez de la carga en su enganche y desenganche.

Y las instrucciones referentes al desenganche, extracción y transporte de estos módulos, deberán contemplar en detalle las secuencias operacionales que garantizan en todo caso la Seguridad y salud del trabajador, en base a la Ley 31/95 y su normativa de desarrollo.

Los armarios y cofres podrán estar equipados con sistemas de guiado/extracción de estos subconjuntos-módulos que ayuden en la operación. Todos armarios y cofres dispondrán de una puerta o tapa practicable permitiendo fácilmente la accesibilidad a los equipos o elementos interiores.

Todos los armarios y cofres tendrán conexión de puesta a tierra en un lugar visible y de dimensión apropiada. Las tapas también dispondrán de una unión equipotencial con el armario y tendrá la suficiente flexibilidad para soportar las maniobras de apertura y cierre; su ubicación será tal que no moleste la extracción e instalación de equipos o elementos ni la realización de trabajos en su interior.

Todos los aparatos que necesiten revisiones periódicas irán montados en cofres en los laterales del coche, para poder ser revisados.

Las tapas y trampillas que dan acceso a equipos deben ser suficientemente practicables para que se pueda realizar el mantenimiento, reparación o sustitución de manera ergonómica y fácil, Si no fuese el caso FMB puede solicitar el rediseño de estas.

Las trampillas de acceso a elementos, ya sean de puertas o ubicadas sobre ventanas, deberán estar claramente señalizadas en su interior indicando el sistema de anclaje mediante pictogramas o leyendas duraderas, visibles y comprensibles. Además, deberán colocarse los pictogramas de seguridad correspondientes que adviertan de los riesgos asociados a su manipulación, tales como riesgo eléctrico, golpes y atrapamientos, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 485/1997 y demás normativa de señalización de seguridad en el entorno laboral

Las trampillas ubicadas sobre puertas y ventanas deberán cumplir los siguientes requisitos:

- El diseño garantizará una manipulación segura y ergonómica, sin requerir posturas forzadas ni esfuerzos excesivos por parte del personal de mantenimiento, en cumplimiento con los principios establecidos en la norma ISO 6385 y la serie UNE-EN 1005 sobre requisitos ergonómicos para tareas físicas.
- Se deberá permitir su apertura completa sin interferencias con asideros, manetas, marcos u otros elementos adyacentes, garantizando la plena accesibilidad a los equipos interiores, sin riesgos ergonómicos o de atrapamiento para el personal de mantenimiento.
- La trampilla deberá abrir al menos 90° respecto de su posición cerrada, medidos en el eje de giro y deberá garantizarse, en la posición de apertura, una distancia libre mínima de 60 mm entre el borde interior del faldón/trampilla y la puerta de acceso.

- Las trampillas no deberán ser desmontadas para operaciones de mantenimiento ordinario, pero deberán permitir su desmontaje sin herramientas especiales, y sin necesidad de desconectar cables, conectores, racores u otros elementos eléctricos o neumáticos conectados a equipos interiores.
- El diseño evitará el uso de fijaciones no estándar, y los sistemas de cierre deberán garantizar resistencia frente al vandalismo.
- Las trampillas deberán incorporar un sistema de retención suficientemente robusto que en posición abierta asegure su estabilidad durante toda la intervención.
- El diseño de las trampillas asegurará que desde el exterior desde el andén el pasaje no tiene acceso ni visualiza el mecanismo de puertas.
- La apertura y cierre de las trampillas deberá poderse efectuar en un mínimo de tiempo.
- Los cierres de las mismas deberán ser robustos asegurando la sujeción de la trampilla a su marco, en forma tal que no se afloje con los movimientos del tren, e impidan la vibración de las trampillas.

Todos los cierres de armarios y cofres deben ser validados por FMB en fase de proyecto. Tendrán cierres seguros y fáciles de abrir y a una altura máxima de 160 cm. Los armarios de baja tensión dispondrán de cierres complejos, dichos cierres y ubicación deberán ser validados en fase de proyecto. Las tapas no deben vibrar ni producir ruidos molestos, serán herméticas y los cables interiores no podrán rozar con estas.

Una vez formado el tren con los distintos coches, todos los aparatos que cumplan la misma misión y deban revisarse, quedarán situados en el mismo lado de la composición.

La distribución de los aparatos se hará racionalmente teniendo en cuenta el aprovechamiento del espacio, fácil accesibilidad, distribución de pesos, etc.

Los anclajes de los soportes de los elementos al bastidor deben estar dimensionados teniendo en cuenta las condiciones de servicio de FMB. Para el aluminio, los anclajes deberán estar adecuadamente protegidos contra la corrosión.

El sistema de paso de cables deberá ser fácilmente accesible, para facilitar las tareas de sustitución o adición de nuevas líneas de cableado.

No se aceptarán pasos de cableado que utilizan los huecos de los perfiles de caja.

Se evitarán los cambios innecesarios de dirección y sinuosidades en las canalizaciones eléctricas y neumáticas.

2.11.4 Techo

El techo del tren deberá diseñarse considerando las necesidades de acceso seguro para inspección y mantenimiento de los equipos instalados sobre el mismo.

Siempre que la disposición de equipos lo permita, se preverá un camino de paso longitudinal de anchura mínima 350 mm. Cuando la presencia de equipos, canalizaciones u otros elementos impida disponer de un camino continuo, el Adjudicatario deberá definir recorridos alternativos y/o zonas pisables.

Las zonas pisables y no pisables deberán estar claramente identificadas y documentadas. En ningún caso se permitirá el tránsito sobre equipos o cubiertas no diseñadas para soportar cargas de personal de mantenimiento.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar el estudio de accesibilidad y seguridad para trabajos en techo, incluyendo recorridos, zonas autorizadas de pisado, restricciones, medios auxiliares necesarios y medidas preventivas aplicables. El diseño debe ser de tal forma que evite resbalones y tropiezos, con piso antideslizante y claramente visible, por ejemplo, en color amarillo y negro.

Para el acceso a otros elementos del techo se debe garantizar la resistencia mecánica de la superficie por donde deben transitar los trabajadores.

El techo deberá estar diseñado de tal forma que impida la acumulación de agua y la oxidación debida a esta.

Los drenajes en el techo evitarán la caída del agua sobre las ventanas laterales y frontales, puertas, cámaras de retrovisión y laterales del tren. Para ello se colocarán canalizaciones y/o bajantes de desagüe para evacuar las aguas y condensados. Estas no incidirán en ningún aparato y/o elemento montado bajo bastidor ni sobre la vía.

Se evitará el estancamiento de aguas y condensados en cualquier zona de las estructuras de las cajas de los vehículos. Especialmente en las bandejas de recogida de aguas, en las canalizaciones del cableado eléctrico y de comunicaciones y en los techos de los vehículos.

Dichos sistemas de desagüe incorporaran los elementos necesarios para evitar que se obturen.

Se requiere el desarrollo de la necesidad de acceso y permanencia en techo de tren mediante sistemas anticáidas, en base al RD 2177/2004, para labores de mantenimiento.

El Adjudicatario deberá realizar la instalación de diferentes puntos de anclaje, conforme a los siguientes criterios:

- 4 puntos de anclaje repartidos en el techo del tren (uno en cada esquina) en todos los coches.
- 4 puntos de anclaje rodeando el pantógrafo, para acceso y trabajos seguros en su entorno.

La propuesta definitiva deberá ser validada por FMB.

La ubicación de los puntos de anclaje deberá permitir el acceso a los mismos mediante escalera manual portátil desde zona de vía, quedando situados próximos a los laterales del techo, de forma que el operario pueda conectarse al sistema anticaídas sin abandonar la escalera, antes de subir al techo del tren.

Los puntos de anclaje serán conformes a la normativa EN 795:2012, tipo A1, o equivalentes como anclajes estructurales fijos. El Adjudicatario realizará los ensayos y validaciones conforme a dicha norma. Deberán estar diseñados para evitar, por construcción, la generación de esfuerzos de palanca o cargas excéntricas sobre la estructura del tren. No se admitirán diseños que impliquen configuraciones que generen momentos de vuelco bajo carga de uso.

Asimismo, los puntos deberán permitir una conexión segura desde distintos ángulos, incluyendo la capacidad de orientación de 360° que garantice el movimiento libre del sistema anticaídas sin interferencias, bloqueos ni torsiones indebidas.

Los puntos de anclaje deberán suministrarse con la documentación de conformidad y certificación correspondiente conforme a la normativa aplicable.

El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto la documentación justificativa de los puntos de anclaje instalados, incluyendo certificados, ensayos, cálculos, instrucciones del fabricante, limitaciones de uso y trazabilidad de los elementos suministrados.

Cuando la normativa aplicable lo requiera, la certificación o validación de los puntos de anclaje deberá estar emitida por una entidad competente, laboratorio acreditado o fabricante autorizado conforme al esquema normativo correspondiente. El Adjudicatario deberá elaborar un Manual específico de uso y mantenimiento, que incluya:

- Procedimientos de uso seguro,
- Frecuencia de revisión,

- Acciones de mantenimiento necesarias para mantener la conformidad normativa.

El certificado, junto con el manual, deberá ser entregado a FMB con al menos un (1) mes de antelación a la entrega de cada tren.

2.11.5 Departamento de pasaje

La distribución interior de la sala de pasaje deberá ser de tal forma que maximice el espacio tanto en superficie como en altura. El Adjudicatario deberá realizar el cálculo detallado del número de personas de pie y sentados que pueden ir por coche en condiciones de carga máxima, considerando la huella que determine FMB en fase de proyecto.

La configuración interior del vehículo, y en particular la disposición del techo interior y de los equipos asociados, deberá diseñarse de forma que se maximice la altura libre útil disponible para los viajeros y para las zonas de accesibilidad, en ningún caso, la altura libre útil disponible será inferior a 2100 mm.

Los espacios destinados a sillas de rueda, carritos de bebé y bicicletas deben estar señalizados en el suelo del coche formando dicha señalización parte del pavimento. Deberán también señalizarse en el exterior del tren y deberán ser visibles desde el interior y desde el exterior del tren.

En todo momento, deberán cumplirse las especificaciones técnicas y materiales homologados previstos en los manuales de señalización de FMB.

No se aceptará el uso de masillas o productos similares que sean visibles por el pasaje.

En cada coche existirán ocho (8) pantallas en la zona de la trampilla sobre cada puerta donde se proyectará información (mapas de red, ...), siendo un total de 40 pantallas por tren.

Asimismo, existirán 4 soportes por coche, con protección de metacrilato, donde ubicar los mapas de red de FMB. El tamaño y ubicación definitivos deberán ser validados en fase de proyecto.

Se dispondrá de 4 cargadores USB por coche para la carga de móviles y estarán integrados en los armarios de la zona de pasillos de intercomunicación. La ubicación definitiva de estos cargadores deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

2.11.5.1 Asientos

El material constitutivo del asiento será rígido con perfiles metálicos no visibles, con los asientos y respaldos fácilmente sustituibles. El asiento será resistente al rayado por vandalismo, siendo el color de las piezas interior y exterior el mismo.

Los principios básicos que deberá cumplir el asiento serán los siguientes:

- d) Coloración másica, no superficial, que no requiera posteriores pintados.
- e) Conformación de características anatómicas y ergonómicas para que no fatiguen las vibraciones.
- f) Ausencia total de ángulos vivos (perímetro con formas redondeadas).
- g) La altura del asiento estará entre 45 cm y 48 cm.
- h) El color del asiento estará integrado con el resto de la decoración interior. Los asientos serán iguales para que su intercambiabilidad sea total.

En ningún caso se ubicarán cofres debajo de asientos. Aquellos elementos a los que se deba tener acceso desde sala se deberán situar en armarios junto al pasillo de intercirculación (grifos de anulación de freno, seccionadores de coches, etc.).

La distribución de los asientos será longitudinal, con sujeción a los costados tipo "Cantilever". El número mínimo de asientos por tren será de 108 asientos. En los grupos de cuatro asientos se dispondrá de un apoya/reposabrazos intermedio entre plazas y en las plazas extremas, integrado en el diseño del conjunto de asientos y concebido específicamente como elemento de apoyo para facilitar el sentado y la incorporación de las personas con movilidad reducida. Este apoya/reposabrazos no podrá resolverse mediante una simple barra o elemento tubular sin justificación ergonómica. Deberá presentar una geometría, sección, posición, altura, rigidez, acabado superficial y extremos redondeados adecuados para el apoyo del antebrazo y/o el agarre de la mano, sin aristas vivas, puntos de enganche ni riesgo de lesión para los viajeros. El diseño deberá ser robusto, resistente al uso intensivo y al vandalismo, compatible con la limpieza, el mantenimiento, la sustitución de componentes, la evacuación y la circulación interior del pasaje. El Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto la propuesta de diseño, planos, materiales, acabados, radios de borde, sistema de fijación y justificación funcional de uso por personas con movilidad reducida. El diseño definitivo deberá ser validado por FMB sobre maqueta, muestra representativa o prototipo del módulo de asientos.

Cada módulo estará conformado en una sola pieza, incorporando tapas y respaldos fácilmente sustituibles sin necesidad de desmontar todo el bloque de asientos.

Se tendrá en cuenta la optimización de los siguientes parámetros:

- a) Equidistancia entre puertas del tren (4.197mm).
- b) Estética y confort general del interior del coche.

- c) Facilidad de circulación por el interior del vehículo y fluidez entre vehículo y andén.
- d) Capacidad de transporte (horas punta y horas valle).
- e) Seguridad.
- f) Diferenciación entre asientos reservados.
- g) Se maximizará la anchura del asiento, siendo el ancho deseado de 500 mm, no se aceptarán plazas con una anchura de asiento menor a 480 mm.
- h) Profundidad mínima útil del cojín del asiento 400 mm.

La profundidad útil del cojín del asiento se medirá desde el borde delantero del cojín hasta la intersección funcional con el respaldo, considerando la superficie efectiva destinada al apoyo del usuario. No se admitirá que el cumplimiento de este requisito se obtenga mediante desplazamientos, geometrías o inclinaciones del respaldo que reduzcan la superficie real de apoyo, el confort o la ergonomía del asiento.

- i) Disponer de apoyabrazos entre grupos de 4 asientos (reposabrazos cada 2 asientos).

Los asientos y los asientos reservados deberán diseñarse con una solución constructiva compatible e intercambiable, de forma que la conversión futura de un asiento estándar en asiento reservado, o viceversa, pueda realizarse sin modificar la estructura de caja, anclajes principales, soportes, pavimento, revestimientos ni interfaces con otros sistemas del tren. A tal efecto, el diseño deberá permitir que una ampliación futura del número de asientos reservados por coche, pueda realizarse mediante la sustitución de elementos superficiales o de identificación —tales como carcasa, acabado, color, señalización— y, en su caso, elementos menores asociados, sin requerir una reforma estructural del interiorismo.

2.11.5.2 Asideros

El sistema de anclaje y tipo de material utilizados deben evitar oscilaciones.

La superficie de los asideros de puertas, asideros centrales de caja y asideros de pasillos será interiormente de acero inoxidable y exteriormente de un material no deslizante de color amarillo (RAL 1023), con estabilidad cromática y resistencia al desgaste en condiciones normales de explotación y limpieza. El sistema de acabado superficial y coloración deberá garantizar resistencia al desgaste, al rayado, a los productos de limpieza y a la corrosión durante la vida de servicio prevista. El Adjudicatario propondrá 3 posibles soluciones con el material base, el grado de inoxidable, el tratamiento superficial y la tecnología de coloración/recubrimiento, justificando

mediante ensayos la adherencia, durabilidad y mantenibilidad de la solución. La solución finalmente adoptada y sus características deberá ser aprobada por FMB en fase de proyecto.

Todos los asideros, barras de sujeción, montantes y demás elementos equivalentes accesibles al pasaje deberán diseñarse y fabricarse con cantos romos, sin aristas vivas, bordes cortantes, rebabas ni terminaciones abruptas susceptibles de causar lesiones durante el uso normal.

Debe existir barras a ambos lados de todas las puertas de acceso al vehículo.

No se colocarán barras verticales en el espacio enfrente a las puertas accesibles evitando que obstaculicen el acceso a usuarios de sillas de ruedas, se colocarán barras de sujeción en techo y en paramentos verticales del entorno para garantizar la seguridad de los pasajeros.

Los asideros deberán ser fácilmente desmontables desde sala de pasaje, sin necesidad de desmontar otras piezas del interiorismo.

El Adjudicatario en fase de proyecto realizará un estudio de distribución de asideros (prensibilidad) que cumpla con las condiciones especificadas en este Pliego y la norma TSI PRM. El Adjudicatario realizará la distribución de los asideros de forma que una persona pueda circular por todo el tren de forma segura y garantizando que con el coche a plena carga se puedan sujetar el máximo número de pasaje, de forma que no se obstruya el acceso o salida por las puertas, ni el tránsito a lo largo de los coches. El diseño, ubicación, calidad y número de asideros, será aprobado por FMB en fase de proyecto. Se dispondrá de los siguientes elementos de sujeción:

- Asideros verticales sujetas al suelo y al techo.
- Asideros horizontales sobre asientos, espacio multiuso y espacio accesible.
- Asideros/apoyabrazos limitando los módulos de asientos.
- Asideros en los montantes de puertas y pasillo intercirculación.

Los asideros estarán unificados en cuanto a sección. En cualquier caso, serán de gran resistencia a los actos vandálicos. Todos los asideros instalados en el vehículo tendrán sección circular y unificada, con un diámetro exterior comprendido entre 30 mm y 40 mm y una distancia libre mínima de 45 mm respecto a cualquier superficie adyacente, salvo sus soportes.

En caso de disponerse asideros curvos, el radio de la cara interior de la curva no será inferior a 50 mm.

Los asideros verticales individuales y asideros en los montantes de puertas y pasillo de intercirculación, no deben deformarse ni aflojarse al aplicarle una fuerza horizontal de 2 kN a la

barra de soporte a una altura de 1.25 m sobre el piso, y se aplica un par de 1000 Nm sobre su eje longitudinal si no es completamente recta y es posible ejercer un par.

Un asidero horizontal no debe deformarse o aflojarse si se aplica una fuerza vertical de 150 kg por FMB de longitud de la barra de soporte.

Los asideros verticales múltiples en el interior sujetas al suelo y al techo no deben deformarse o aflojarse cuando se aplica una fuerza horizontal de al menos 4 kN a la varilla de soporte a una altura de 1.25 m sobre el piso, y se aplica un par de 2000 Nm sobre su eje longitudinal.

La ubicación de los asideros será tal que no puedan dificultar la limpieza del suelo, por su proximidad a asientos o paramentos.

El acabado del asidero con el interiorismo se realizará sin masillas o productos similares visibles, pero se deberá asegurar un acabado perfecto. En fase de proyecto el Adjudicatario presentará la solución adoptada que deberá ser aprobada por FMB.

2.11.5.3 Pavimento

Deberá cumplir las condiciones siguientes:

- a) Conservarse en perfectas condiciones, es decir, sin despegues, embolsamientos, desgastes y pérdidas de color durante 20 años.
- b) Resistencia al calor.
- c) Buen aislamiento térmico.
- d) Resistencia ante cambios bruscos de temperatura.
- e) Buen aislamiento acústico.
- f) Resistencia a las vibraciones.
- g) Impedir la entrada de agua bajo el mismo.
- h) Fácil de colocar a la hora de la reposición parcial o total, debiendo existir en el primer caso un contraste mínimo de coloración con el resto de la superficie.
- i) Fácil de adquirir como repuesto.
- j) Fácil de limpiar por vía húmeda, sin que resulte deteriorado tanto el pavimento como las estructuras que lo soportan.

k) Resistente a disolventes.

l) Resistente al punzonado.

El piso deberá tener una adecuada resistencia mecánica, debiendo soportar una carga, sin deformación permanente alguna, de 7000N/m².

La dureza Barcol será igual o superior a 35 unidades, según norma UNE- 53270.

Entre la chapa base fijada a la estructura del piso, y el pavimento propiamente dicho, se dispondrá de los elementos necesarios para aumentar la resistencia del pavimento, así como para mejorar el aislamiento al calor y al ruido. Tanto en la fase de ingeniería como en la de fabricación se pondrá especial cuidado en evitar que se produzcan crujidos, marcas o hundimientos en el piso motivados por el simple paso de personas.

Se continuará el pavimento por el paramento vertical hasta una altura aproximada de 150 mm de forma continua, tipo "bañera".

No se colocarán trampillas u otros elementos que puedan romper la continuidad del pavimento, pero si fueran imprescindibles, las partes metálicas deberán ser resistentes al desgaste e inoxidable y perfectamente herméticas.

Se tendrá especialmente en cuenta el sistema de pegado a la base del piso, así como el sellado de las uniones entre módulos, al objeto de conseguir una perfecta estanqueidad.

La distribución del pavimento será con bandas longitudinales, con el menor número posible de estas. La unión entre bandas deberá estar sellada de manera adecuada.

Incluso en condiciones de humedad previsibles en servicio, el revestimiento del suelo deberá mantener durante todo su ciclo de vida propiedades antideslizantes adecuadas para garantizar la seguridad de los viajeros y del personal. El pavimento deberá acreditar, como mínimo, una clasificación de resbalabilidad Clase 2 conforme a UNE-ENV 12633, o una clasificación mínima R10 según DIN 51130. El Adjudicatario deberá justificar el cumplimiento mediante certificados de ensayo y demostrar la durabilidad de dichas prestaciones frente a desgaste, limpieza y envejecimiento.

El revestimiento del suelo deberá tener logotipos incrustados (silla de ruedas / auxiliar de movilidad, silla de paseo, etc.) en la ubicación del área de multifuncional.

El Adjudicatario deberá definir dos o más tipos de pavimentos con referencias de su instalación en otros operadores ferroviarios. En fase de proyecto, el Adjudicatario junto con FMB definirán que tipo de pavimento y características físicas se instalará en el tren.

Una vez aplicada la capa de pavimento no se permitirán imperfecciones, ondulaciones y/o otros defectos superiores a 0,5 mm/m de planitud en todo el coche.

El pavimento debe ser autoadhesivo empleando una cinta de espuma acrílica de características viscoelásticas, de espesor mínimo 1,0 mm y densidad mínima de 700 kg/m³, que absorba irregularidades y tensiones de piso.

Se evaluará la resistencia al deslizamiento del pavimento mediante ensayos normalizados y en función del uso previsto. En fase de proyecto, el Adjudicatario presentará la ficha técnica y ensayos correspondientes según las normas UNE ENV 12633, UNE 41901/41902 o UNE EN 16165 (péndulo), o DIN 51130. Asimismo, deberá documentar el plan de limpieza, lavado y conservación para mantener la resbalabilidad a lo largo de la vida útil del pavimento. El pavimento finalmente a instalar será validado por FMB en fase de proyecto.

En el coche remolque se dispondrá de un área destinada a carritos de bebe, bicicletas, etc. que deberá estar correspondientemente señalizada en el suelo y en el lateral del tren según se detalle en el manual vigente de señalización de trenes. Dicha zona estará ubicada en el centro del coche y ocupará el espacio de una fila de 4 asientos.

2.11.5.4 Revestimiento interior

La elección de los materiales y su acabado será tal que mantenga su apariencia y color original tras repetidas limpiezas de grafitis, suciedad, tinta, sustancias causticas, adhesivos, etc. Durante la fase de proyecto se realizarán ensayos para demostrar que estas características se cumplen.

Los paneles y resto de componentes que componen el interiorismo deberán ser montados de tal forma que, se evite cualquier tipo de traqueteo, hundimiento o desprendimiento no permitiendo ningún juego o ruidos, debidos al montaje del interiorismo y de tal manera que, en la separación o desalineación entre ellos, no sea en ningún caso superior 1 mm.

No se permitirán espacios entre indicadores, cámaras, detectores, pantallas y los marcos, piezas que los soporten o donde vayan montadas, impidiendo la posibilidad que se puedan introducir papeles entre estos elementos y su contorno.

Todos los registros o aberturas deberán estar exentos de rebabas, sin aristas ni cantos vivos y con la parte interior pintada, aunque no sea vista por el pasaje, desde el interior o el exterior del vehículo en cualquier parte del vehículo.

Todos los cordones de sellado utilizados deberán ir pintados, disimulados y siempre por la cara interna de la parte a sellar. El Adjudicatario hará propuesta a FMB sobre la pintura aplicar. Esto también aplicará para todos los cordones que se utilicen en el exterior del vehículo.

Los materiales utilizados deberán ser resistentes a la humedad y a los detergentes (incluidos aquellos utilizados para la limpieza de grafitis). También serán repelentes al polvo.

La elección de los materiales será tal que mantengan la apariencia original tras repetidas limpiezas de grafitis. En aquellas zonas mas susceptibles a ser vandalizadas se utilizaran vinilos anti-grafitis cuya calidad e implantación deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

Todos los revestimientos de las paredes laterales, paredes testeras y techo, tendrán incorporado un tratamiento anti-grafitis que deberá ser sometido a la aprobación de FMB.

Los revestimientos interiores de sala de pasaje, incluyendo paredes laterales, testeros, techos, tabiques, zonas próximas a puertas, puertas y demás superficies expuestas al contacto o posible vandalismo del pasaje, deberán estar protegidos mediante vinilos.

Como solución preferente, se aplicará vinilo protector anti-grafitis sobre los revestimientos interiores, salvo en aquellas zonas donde por geometría, material, temperatura, mantenimiento o durabilidad no resulte técnicamente adecuado. En dichos casos, el Adjudicatario propondrá una solución alternativa equivalente, como pintura, recubrimiento o tratamiento anti-grafitis, que deberá ser validada por FMB.

La propuesta de vinilado interior deberá presentarse en fase de proyecto, incluyendo zonas a proteger, materiales, espesores, acabados, método de aplicación, criterios de sustitución, compatibilidad con limpieza y mantenimiento, comportamiento al fuego y durabilidad y deberá ser validada por FMB.

En el caso de que los revestimientos sean de materiales plásticos, deberán ser tintados de tal forma que en caso ralladuras estas no perderán el color original de dicho revestimiento.

Los paneles interiores deben tener un acabado suave y el mínimo de separación entre ellos. Las transiciones entre los paneles laterales y el suelo y el techo deben ser suaves. No deberán existir cantos vivos ni lugares donde se pueda acumular suciedad y no se podrán utilizar tapetas o contramarcos en las uniones de paneles.

El interior del tren deberá estar provisto de los adhesivos informativos y de los elementos de señalización de evacuación que FMB le indique al Adjudicatario en fase de proyecto.

Para la fácil sustitución de los paneles de revestimiento interior por deterioro o cualquier otra causa, se colocarán de forma que puedan desmontarse individualmente, y estarán diseñados de forma que no sean necesarios tapajuntas.

Se dispondrá de los registros necesarios y suficientemente amplios para efectuar la reparación y revisión de aparatos, de forma que no sea preciso desmontar el revestimiento interior.

Todos los revestimientos de las paredes laterales, paredes testeras y techo, tendrán incorporado un tratamiento anti-grafitis que deberá ser sometido a la aprobación de FMB.

La tornillería utilizada para las fijaciones deberá ser antivandálica, homogéneas y respetar el diseño, tanto de sala como de cabina, no pudiendo ser aleatorio el tipo o acabado escogido por el Adjudicatario. Deberá contar con la aprobación de FMB.

Las fijaciones de cables u otros elementos en el interiorismo se evitará el uso de los soportes autoadhesivos o bridas de plástico. Si el Adjudicatario fuese a utilizar este tipo de fijaciones, necesitará la aprobación de FMB.

Se evitará el uso de piezas autoadhesivadas para elementos tanto no vistos, como decorativos del tren.

Para garantizar la durabilidad, las superficies de los componentes interiores serán resistentes al rayado y al desgaste provocado por el uso en servicio (roce con ropa, cremalleras, carritos, equipaje, entre otros objetos) y por ciertos actos de vandalismo (como rayados con objetos punzantes). La conformidad con este requisito se justificará a través de un test de material normalizado.

2.11.5.5 Pasillo de intercirculación

El pasillo de intercirculación deberá cumplir con las normas EN 16286-1 y EN 16286-2.

La zona del pasillo deberá estar perfectamente iluminada y dispondrá de asideros en concordancia con el resto del tren.

Será robusto, ligero y capaz de resistir todas las solicitaciones que puedan producirse, con el tren circulando en vía general y cocheras, en las peores condiciones, reuniendo las máximas garantías de seguridad para el pasaje, en cualquier momento de la marcha. El montaje y desmontaje de los pasillos será fácil, rápido y seguro. Los pasillos de intercomunicación dispondrán de tensores elásticos en las paredes de los pasillos para facilitar su montaje y desmontaje.

Formará una unión perfectamente estanca, impidiendo la entrada de polvo o agua incluso en el lavado mecánico, así como una correcta insonorización.

El alto y la anchura libre de paso serán aproximadamente igual a la de los pasillos instalados actualmente en los trenes de FMB:

- Alto libre de paso 1.977 mm $\pm$ 5 mm.
- Ancho libre de paso 1.350 mm + 25 mm/-50 mm.

El pasillo de intercomunicación, en su parte exterior de caja, deberá ajustarse lo más posible al galíbo cinemático de la caja, disminuyendo así el riesgo de caída entre coches.

Los elementos del pasillo no deben ser accesibles al pasaje, especialmente los móviles, para evitar accidentes o actos de vandalismo. En general debe ser de fácil limpieza y con la superficie protegida anti-grafitis.

El pasillo deberá presentar una resistencia a fuego y humo con calificación según norma EN-45545.

El pasillo tendrá una atenuación acústica según la EN 16286-2 de al menos 29 dB.

Se deberá aportar referencias suficientes (2 o más) de experiencias demostradas en un servicio similar al necesario por FMB.

2.11.5.6 Ventanas y luna frontal

Todas las lunas de la unidad serán de vidrio templado de seguridad, que, en caso de rotura, sus fragmentos no puedan producir lesiones, evitando la proyección de esquirlas hacia el interior. Las lunas frontales tendrán un espesor tal que no puedan ser perforadas por el impacto de objetos sólidos. El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá justificar la capacidad para resistir impactos, que no será inferior a la requerida en la norma EN 15152.

Deberán estar previstas de láminas protección antivandálica (antirayado y antiácido) por ambas caras. Dichas protecciones no deben reducir en ningún caso la transparencia del vidrio.

Todas las lunas del vehículo, incluidas las ventanas laterales, lunas de puertas de acceso a sala, puertas de cabina, mamparas acristaladas y luna frontal, deberán ser de seguridad y adecuadas para aplicación ferroviaria.

Los vidrios laminados deberán cumplir, como mínimo, los requisitos aplicables de la norma NF F 31-250 o norma ferroviaria equivalente. Los vidrios templados de seguridad deberán cumplir, como mínimo, los requisitos aplicables de la norma NF F 31-129 o norma ferroviaria equivalente. La luna frontal deberá cumplir los requisitos aplicables de la norma EN 15152, incluyendo la justificación de resistencia a impacto, calidad óptica, distorsión, visibilidad y ensayos correspondientes.

Adicionalmente, los materiales de acristalamiento de seguridad deberán cumplir, cuando resulte aplicable, el Reglamento CEPE/ONU nº 43 relativo a la homologación de materiales de acristalamiento de seguridad y su montaje en vehículos.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto el tipo de vidrio seleccionado para cada ubicación, su espesor, composición, nivel de seguridad, comportamiento frente a rotura, protección antivandálica, comportamiento frente al fuego, compatibilidad con los sistemas de montaje y mantenimiento, así como la trazabilidad y certificados de conformidad correspondientes.

La superficie acristalada será la máxima posible, repartiéndola de forma integrada a la estética del tren.

El lado superior de las ventanas en el departamento de pasaje deberá estar como mínimo a 1850 mm por encima del piso y la dimensión mínima vertical de la luna será ≥ 750 mm.

Se montarán dos configuraciones de ventana, una con ventanas fijas y no practicables por el pasaje y otra (dos ventanas por coche) con la parte superior de la ventana practicable, abatible; la apertura representará un mínimo el 20% de la superficie total de la ventana, pero si se desea podrán enclavarse fácilmente, impidiendo su apertura mediante cerradura de cuadrado. El Adjudicatario deberá calcular la apertura de la ventana abatible que asegure que la renovación del aire se mantiene por debajo de 10.000 ppm.

El montaje de las lunas se realizará asegurando una elevada solidez, estanqueidad y seguridad, mediante perfiles de goma con junta o cordón de expansión, sistemas de retención mecánica positiva u otras soluciones equivalentes justificadas por el Adjudicatario y validadas por FMB. El sistema deberá impedir la entrada de aire y agua, aislar la luna de vibraciones y garantizar su retención durante toda la vida útil del vehículo. La sustitución de ventanas laterales deberá poder realizarse en el mínimo tiempo posible, preferentemente en menos de 1 hora cuando el diseño lo permita sin comprometer la seguridad. En ningún caso se permitirá la colocación de contramarcos interiores que dificulten el mantenimiento, la limpieza, la evacuación o la seguridad de los viajeros.

El Adjudicatario deberá proponer y justificar una solución de retención reforzada del acristalamiento, especialmente para las ventanas laterales de sala de pasaje y puertas de acceso, que reduzca el riesgo de salida de la luna de su alojamiento en caso de impacto, deformación local de la caja, vuelco, arrastre lateral o fallo/degradación de juntas, gomas o junquillos.

La solución propuesta deberá evitar que la retención de la luna dependa exclusivamente de la elasticidad o integridad de una junta de goma o junquillo desmontable, salvo que el Adjudicatario demuestre mediante análisis y ensayos que dicho sistema ofrece un nivel de retención equivalente o superior a una solución con retención mecánica positiva.

A tal efecto, el Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto un estudio específico de integridad del sistema de acristalamiento, incluyendo análisis de modos de fallo, resistencia frente a esfuerzos fuera del plano de la luna, comportamiento ante presión/depresión, vibraciones, impactos, actos vandálicos, envejecimiento de juntas y condiciones degradadas. Dicho estudio deberá incluir las medidas de diseño adoptadas para evitar la expulsión de la luna hacia el interior o exterior del vehículo.

Entre las soluciones admisibles se podrán considerar, entre otras, sistemas de retención mecánica positiva, perfiles con geometría anti-extracción, junquillos con bloqueo mecánico, marcos con solape suficiente, elementos secundarios de retención o combinaciones de estas soluciones. La solución definitiva deberá ser validada por FMB durante la fase de proyecto.

La mejora de la retención del acristalamiento deberá ser compatible con los requisitos de evacuación, rescate, sustitución en mantenimiento, estanqueidad, aislamiento frente a vibraciones y comportamiento frente al fuego. La unión marco-ventana debe tener un nivel de protección de al menos IP66. Se aislará a las ventanas y parabrisas de todo tipo de vibraciones.

Los cristales del tren, especialmente la luna frontal de cabina, cumplirán con los más altos estándares de calidad óptica, resistencia mecánica y seguridad, de acuerdo con la normativa vigente aplicable al sector ferroviario. Se utilizará vidrio laminado conforme a la norma UNE-EN 15152:2020 sobre parabrisas frontales de cabinas ferroviarias, así como a las normas UNE-EN 16186-1:2015 + A1, NF F 15-818:1996 y UIC 651 (4ª edición, julio 2002), garantizando que se permita una transparencia no inferior al 85% y una visión sin distorsiones para el personal de conducción. Se prestará especial atención a la planitud de la luna, evitando cualquier tipo de deformación óptica que comprometa la correcta percepción del entorno ferroviario. Se deberá presentar un informe técnico favorable que justifique la ausencia de distorsiones ópticas perceptibles en las lunas frontales, especialmente desde la posición del conductor. Este informe incluirá la ficha técnica del vidrio frontal, detallando su composición, tratamientos superficiales, capas funcionales y sus propiedades ópticas y mecánicas conforme a lo requerido por las normas anteriormente citadas.

Desde el punto de vista estructural, la luna frontal deberá soportar impactos directos con una energía mínima de $\geq 1,5$ kJ, garantizando que no se produzca desplazamiento del conjunto hacia el interior de la cabina. Esta condición será exigible en cualquier punto de su superficie.

La luna deberá tener forma plana, y estará instalada con un sistema de sujeción diseñado para resistir impactos.

Además, la luna frontal alcanzará las siguientes categorías de resistencia al ataque manual según la norma UNE-EN 356:

- P3A, resistencia básica ante agresiones manuales.
- P6B, resistencia superior frente a ataques prolongados con herramientas.

Finalmente, se validará su resistencia al gravillonado conforme al procedimiento establecido en la norma UNE-EN 15152. Asimismo, los parabrisas irán calefactados y dispondrán de un dispositivo de limpieza de la luna frontal con depósito de agua de 25 litros. Este dispositivo tendrá diferentes velocidades de limpieza.

2.11.5.7 Iluminación interior

El alumbrado del interior de los coches no debe apagarse en el paso de pantógrafos del tren por zonas de catenaria con aisladores de sección, o cuando haya pérdidas de tensión de catenaria cuya duración sea inferior a 30 segundos. A tal efecto dicho alumbrado se alimentará de la tensión de batería.

Se deberá garantizar la capacidad de apagar automáticamente cualquier luminaria que presente parpadeo. FMB definirá, durante la fase de Proyecto, las condiciones e indicaciones específicas asociadas a esta funcionalidad.

En las labores de mantenimiento interior de determinados armarios y cofres, que serán identificados durante la fase de Proyecto, se garantizarán niveles de iluminación de hasta 500 lux para asegurar condiciones óptimas de trabajo.

El Adjudicatario deberá cumplir con la norma UNE-EN 13272.

El conjunto del alumbrado será homogéneo en todo el tren, será realizado con tecnología de paneles LED, comprendida entre 4000°K y 6000 °K tal, que en cualquier punto de un plano horizontal situado a 1000 mm del suelo no resulte una iluminación inferior a 400 lux al año de funcionamiento y uniformidad de 0,8 a 1,2 en zona asientos y uniformidad de 0,5 a 2,5 en zona asientos, evitándose puntos con brillo.

El sistema de iluminación interior del tren deberá cumplir la norma EN 13272-2:2019, garantizando los niveles mínimos de iluminancia, uniformidad, limitación del deslumbramiento y reproducción cromática exigibles para cada zona del vehículo.

La limitación del deslumbramiento se justificará conforme al criterio UGR de la norma aplicable, no debiendo superarse UGR 22.

El índice de reproducción cromática de las fuentes de luz será $R_a \geq 80$ (o grupo de reproducción cromática 1B).

Las luminarias y sus equipos electrónicos deberán ser aptos para aplicación ferroviaria y cumplir EN 50155:2021 en lo que resulte aplicable.

Los módulos y luminarias LED deberán cumplir IEC 62717 e IEC 62722-2-1 en cuanto a prestaciones fotométricas y vida útil.

La depreciación del flujo luminoso se declarará mediante una métrica verificable de vida útil, como mínimo L70 a 50.000 h, debidamente justificada por el Adjudicatario.

Las luminarias irán alimentadas directamente a tensión de batería sin convertidores de iluminación.

Los difusores de alumbrado estarán en consonancia con la decoración interior y serán de fácil limpieza.

Se dispondrá de las medidas necesarias para que el público no pueda manipular los elementos de iluminación.

El encendido y apagado del alumbrado del compartimiento de pasajeros del tren lo gestionará el sistema informático de mando y monitorización. El encendido podrá realizarse de forma automática mediante la función de puesta en marcha automática (accionando el pulsador de PMA) y también podrá hacerse accionando un pulsador de "Conexión Alumbrado" situado en el puesto de conducción.

El apagado podrá realizarse de forma automática presionando el pulsador de DA, o de forma manual, accionando el pulsador correspondiente a la desconexión manual del alumbrado situado en el puesto de conducción.

Cuando la batería permanezca en descarga durante un tiempo de 30 segundos, de forma automática se desconectará el alumbrado ordinario quedando únicamente el de emergencia. Este tiempo podrá ser modificado por personal de mantenimiento.

La iluminancia debe ser suficiente para hacer posible la ocupación continuada del vehículo o el desalojo del mismo. Debe proporcionar el mínimo de luz necesario para hacer posible que el pasaje se puedan desplazar dentro de los vehículos, así como abandonarlos y en particular

advertir la presencia de obstáculos. Las salidas del vehículo deberán ser claramente identificables.

Ésta deberá garantizar su conexión automática debiendo alcanzar en el arranque en 5 segundos el 50% de la iluminancia requerida y en 15 segundos el 100%.

Se debe garantizar el funcionamiento durante 90 minutos después del corte de suministro de energía.

Se colocarán luminarias junto a las puertas y estribos de puertas.

Cuando la batería vuelva a carga se reconectará automáticamente el alumbrado ordinario.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá justificar cuál es el nivel luminoso adecuado en el departamento de pasajeros y en el puesto de conducción, en función de la decoración, distribución de elementos y características de los materiales utilizados. Se deberá garantizar la uniformidad de dicha iluminación y que ésta no sufra cambios cuando la tensión de la batería fluctúe.

En el interior de cada coche se implantará un pulsador que al ser accionado activará el denominado “Alumbrado de mantenimiento”. Dicho pulsador se implantará en un lugar a establecer durante el proyecto, fuera de los armarios de cabinas y de modo que no pueda ser accesible al pasaje.

La misión del “alumbrado de mantenimiento” es dotar al interior del tren de iluminación, para aquel personal de limpieza u otro personal de mantenimiento ajeno a FMB, que no deba acceder al interior de los armarios de cabina.

Para activar el “Alumbrado de mantenimiento” se deberá accionar el pulsador citado, la batería deberá estar desconectada y su tensión no deberá ser inferior al 85% de su valor nominal. Si se cumplen estas condiciones se activará la iluminación de mantenimiento de los coches y los de los dos puestos de conducción. Si la batería ya estuviese conectada se inhibirá la activación del alumbrado de mantenimiento, ya que como mínimo estará en servicio el alumbrado de emergencia.

Con objeto de evitar la descarga total de la batería, el “Alumbrado de Mantenimiento”, se desconectará automáticamente 15 minutos después de haberse accionado el pulsador de conexión del mismo, o cuando la tensión de batería tenga un valor menor o igual al 85% de su valor nominal. Esta temporización de la desconexión podrá ser modificada por personal de mantenimiento en un margen de 5 a 60 minutos. Cuando actúe la temporización se podrá volver

a reconectar el “Alumbrado de Mantenimiento”, siempre que se cumplan las condiciones para su activación antes citadas.

Las características técnicas de todos los elementos de iluminación deberán ser sometidas a la aprobación de FMB.

2.12 SISTEMA INFORMÁTICO EMBARCADO (K)

2.12.1 Red troncal TCN

El propósito de la red troncal TCN es proporcionar un bus de control a través del cual los diferentes sistemas embarcados intercambian información de estados y alarmas. Esta red multiservicio permite la transmisión de datos críticos hacia el Centro de Control. Es utilizada por los diferentes sistemas para intercambiar información de estados y alarmas con otros sistemas y reportar al sistema de monitorización y gestión embarcada.

El tren incorporará un sistema informático que centralice las funciones de mando, monitorización y control del tren. Dicho equipo deberá estar homologado para aplicaciones ferroviarias de mando según norma IEC61375, por lo que el sistema de comunicaciones utilizado se basará en el estándar de tren TCN de la citada norma.

Los equipos integrantes del sistema cumplirán al menos las normativas ferroviarias de referencia en lo que respecta a ruido electromagnético (EN 50121), temperatura, vibraciones y condiciones de trabajo (EN 50155).

Básicamente el sistema informático embarcado estará compuesto como mínimo por:

- Procesadores redundados sin elementos comunes que comprometan su redundancia, con conexión redundante cada uno de ellos al bus de comunicación y con capacidad para que, ante el fallo de uno u otro, siempre sea capaz de asumir el mando de forma totalmente transparente para el sistema (sin pérdida de prestaciones).
- Dos canales redundados de comunicaciones que no compartirán elementos susceptibles de provocar fallos simultáneos en las mismas y que interconectarán todos los equipos del tren. Cualquier tipo de fallo en las comunicaciones localizado en uno de los canales no debe tener consecuencias para el sistema, el canal que permanece operativo debe garantizar las comunicaciones sin que en ningún momento la funcionalidad se vea afectada.

- Los módulos de E/S remotos necesarios para realizar la función de mando y control del tren, se encontrarán adecuadamente distribuidos en los diferentes coches, también estarán conectados al sistema de forma redundante.
- Dos pantallas por puesto de conducción con su teclado, a través de las cuales se podrá consultar en tiempo real todos los datos e incidencias de los equipos embarcados en el tren. Cada pantalla situada en el puesto de conducción también se encontrará conectada de forma redundante al sistema informático y posiblemente al de CCTV si durante el proyecto se estima necesario que cumpla dicha función.
- Los equipos y redes auxiliares necesarias para garantizar la funcionalidad, seguridad y prestaciones requeridas del tren que se exponen en este documento.

La redundancia del sistema informático a nivel de procesadores y buses de comunicaciones debe ser real y absoluta. En ningún caso una sola avería en cada uno de estos subsistemas deberá ocasionar disminución en las prestaciones del tren.

Se cuidará especialmente la redundancia de los canales físicos que distribuyen cada uno de los buses de comunicación a lo largo de todo el tren, no se aceptará que dichos canales compartan conectores, regletas, alimentaciones, mangueras, apantallamientos y otros elementos susceptibles de introducir fallos que neutralicen la redundancia del sistema.

Las interconexiones del bus informático, comunicaciones, entradas/salidas, alimentaciones y demás interfaces deberán diseñarse con criterios de robustez, mantenibilidad, accesibilidad y prevención de errores de conexión.

La sustitución de equipos deberá poder realizarse mediante procedimientos simples y seguros, sin manipulaciones complejas del cableado ni riesgo de dañar conectores o instalaciones.

El Adjudicatario justificará en fase de proyecto la solución adoptada, incluyendo fijación mecánica, guiado de cableado, identificación, protección frente a vibraciones y facilidad de sustitución.

Ante la extracción de cualquier equipo de la red informática de su alojamiento, para su mantenimiento, sustitución por avería, etc. no se aceptará deterioro en las comunicaciones, la única consecuencia esperada será la obvia desaparición del equipo de la red y la pérdida de mando e información asociada y sólo si este no se encuentra redundado. La integridad de los buses de comunicación no dependerá de que los equipos se encuentren conectados o no a los mismos. La extracción, de su alojamiento, de un equipo conectado a la red informática no implicará la apertura de la misma.

El cableado de B.T. del tren estará concebido para que en ningún caso el fallo o pérdida de un solo módulo de E/S remoto impida que un tren pueda continuar en servicio comercial de forma segura hasta el final del servicio. Los circuitos críticos para garantizar la movilidad segura de un tren, comandados por los módulos de E/S remotos del sistema informático, así como las entradas y salidas relacionadas deberán encontrarse correctamente redundadas.

Igualmente, en el diseño de la circuitería del tren se debe contemplar una funcionalidad “Auxilio del Sistema Informático” con la que se garantice la movilidad segura de un tren cuando este sufre la pérdida total o parcial del sistema informático por cualquier motivo. Dicha función debe permanecer disponible para cualquier estado en el que se encuentre el sistema informático embarcado, y su activación se podrá realizar desde ambos puestos de conducción.

La activación del modo “Auxilio del Sistema Informático” se realizará mediante el accionamiento del correspondiente pulsador, esto forzará la desconexión y/o despreparación de todos los equipos del tren necesarios para que este pueda circular, sólo en conducción manual y de forma segura incluso con pasaje si fuera necesario. Este proceso no debe necesitar prerequisite alguno diferente a tener mando de tren en el puesto de conducción desde el que se pretenda moverlo. El modo “Auxilio del Sistema Informático” debe prevalecer sobre el mando del sistema informático y junto al primero deberán poder coexistir el mayor número posible de funcionalidades importantes realizadas por equipos no afectados tras un posible fallo del sistema informático, como por ejemplo el de ATP, Radio, etc.

El sistema debe ser capaz de recuperarse rápidamente y de forma automática tras el cese del motivo que originó el fallo, sin que se requieran reinicios. Aperturas o cortocircuitos esporádicos de bus no deben originar bloqueos permanentes del sistema.

El Ofertante deberá documentar, exponer y justificar las propiedades del sistema relacionadas con las especificaciones anteriores. El sistema y su funcionamiento deberán ser aprobado por FMB.

El sistema de mando estará diseñado contemplando los modos degradados de trabajo del mismo, para que en caso de avería parcial o total de la red informática del tren quede garantizado el correcto funcionamiento de los servicios y equipos necesarios para poder retirar el tren de la línea. Así mismo cualquier pérdida de sistema redundado deberá ser reportada en tiempo real al puesto de conducción y al CCM mediante el canal que se estime para este fin.

En referencia a las informaciones, datos y registros del sistema informático de los trenes:

- Podrán ser enviados hacia el CCM y a la Cochera a través del canal de comunicaciones bidireccional tren-tierra que en su momento se determine.

- Se debe poder tener acceso, mediante la pantalla situada en puesto de conducción a datos e incidencias en tiempo real de todos los equipos embarcados en el tren.
- Todos los fallos y eventos deberán identificar el equipo y coche del que proceden y dar información sobre la naturaleza de los mismos. La información mostrada se acompañará de esquemas o imágenes, se diseñará de una forma sencilla e intuitiva, para facilitar la ubicación de los equipos en el Tren para encontrar rápidamente la mejor resolución de las posibles incidencias.

En la fase de proyecto se definirá conjuntamente con FMB el alcance de estas informaciones de diagnosis.

El tratamiento de las informaciones a nivel de monitorización y mando de trenes se realizará desde CCM o desde la cochera, se efectuará mediante un software que se desarrollará a partir de la aplicación de monitorización y mando implantada en los trenes.

El sistema deberá gestionar la presentación simultánea de varios Estados Operacionales Incorrectos (EOI) de forma automática.

Cuando el tren esté conducido manualmente, los Estados Operacionales Incorrectos mostrados en la pantalla del sistema informático vendrán acompañados de una guía de actuación sobre el procedimiento adecuado a seguir en cada caso para solucionar la situación descrita. La aparición de cada Estado Operacional Incorrecto dará lugar a una señalización acústica de una intensidad adecuada para no generar molestia y que podrá silenciar el personal de conducción al rearmarla. Esta señalización no estará operativa en tren cuando éste se encuentre conducido automáticamente sin motorista.

En el sistema informático del tren existirá registro de Estados Operacionales Incorrectos, fallos y eventos en memorias no volátiles de llenado cíclico.

La capacidad de almacenamiento de las incidencias debe permitir una explotación normal del Tren entre intervenciones programadas sin que se produzca la pérdida de la información de las incidencias producidas o la imposibilidad de seguir almacenando incidencias.

En estos registros se datará la información en tiempo real y quedará asociada a un contexto que permita una rápida interpretación de la incidencia al recuperar los datos. El Adjudicatario deberá analizar para cada caso cuál es el contexto más adecuado, el cual deberá ser sometido a la aprobación de FMB.

El análisis de eventos debe ser una potente herramienta con la que se obtenga información real y útil para el mantenimiento preventivo y correctivo del sistema, debe evitarse la aparición de eventos injustificados.

Las aplicaciones del sistema informático deberán posibilitar el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo del sistema informático y será sometido a la aprobación de FMB. El Adjudicatario deberá aportar herramientas embebidas y no embebidas efectivas suficientes para que cada una de ellas por separado pueda mostrar en tiempo real indicadores de la calidad de las comunicaciones (tasa de tramas erróneas, conectividad de equipos, etc.). Los datos o registros que suministren las mencionadas herramientas informáticas embebidas en el sistema, capaces de evaluar la calidad de las comunicaciones del mismo, no sólo serán anotados como eventos, sino que además podrán ser enviados en tiempo real al CCM por el canal tren-tierra que en su momento se determine.

La herramienta para la implementación de los algoritmos de control del sistema informático embarcado se basará en aplicaciones software de tipo gráfico y de alto nivel, similares a las empleadas para autómatas programables. Su entorno de trabajo deberá ser agradable e intuitivo para el operador (user friendly).

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá justificar los algoritmos empleados en la gestión del mando y control de los sistemas y equipos del tren.

Todo software relacionado con el sistema informático embarcado debe ser desarrollado, depurado y validado mediante procedimientos que garanticen la seguridad de funcionamiento con autodetección de defectos y errores. Los softwares y hardware deberán cumplir los niveles SIL que se definan durante el desarrollo del proyecto, de acuerdo con el estudio de seguridad global del sistema. Durante el desarrollo del proyecto se justificará el nivel SIL para las diferentes funciones de control.

La totalidad de las herramientas informáticas deberán ser entregadas a FMB coincidiendo con la entrada en servicio del primer tren. Dicho software deberá trabajar en entorno Windows. Todas las versiones de software a entregar serán las utilizadas por el Adjudicatario en la puesta en marcha del sistema, sin ningún tipo de limitación en sus prestaciones. El número de licencias software a entregar se dimensionará en función de las necesidades que en su momento se prevean.

Todas las interacciones hombre-máquina con el sistema informático deberán poderse efectuar mediante la pantalla del puesto de conducción, reservándose el uso de Ordenador Portátil para las operaciones específicas a efectuar por personal de mantenimiento. En las zonas de

conducción existirán puntos de conexión y acceso a las redes informáticas del tren mediante Ordenador Portátil, desde donde se podrá realizar la puesta a punto de los principales equipos y sistemas embarcados (sistema informático, cadena de tracción, ATC, frenos, convertidores, CCTV, etc.). Para este tipo de accesos sólo se utilizarán conexiones seguras según la política de Ciberseguridad de FMB.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá adjuntar especificaciones técnicas de la pantalla utilizada destacando: vida útil prevista del monitor, fiabilidad, resistencia antivandálica, robustez para aplicación ferroviaria, etc. LCC, garantía, mantenimiento.

La introducción del dato de diámetro de rueda de los ejes del tren que llevan asociados tacogeneradores o dispositivos de medida de velocidad, se podrá efectuar a través de las pantallas del sistema informático del tren, transmitiéndose a los diferentes equipos que requieran esta información.

Todos los equipos que requieran reloj en tiempo real estarán sincronizados a través del sistema informático embarcado, tomando como referencia horaria principal el Nodo de Comunicaciones.

Los equipos de registro/caja negra no serán necesariamente los propietarios de la gestión/modificación de fecha y hora, pero deberán estar sincronizados con la referencia horaria del tren y entre sí, garantizando la coherencia, integridad y trazabilidad temporal de los datos registrados.

En caso de fallo de la referencia horaria principal, el sistema deberá disponer de una estrategia degradada documentada que permita mantener la coherencia temporal de los eventos registrados.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá documentar la arquitectura de sincronización horaria, equipo propietario de la fecha/hora, equipos sincronizados, precisión, comportamiento ante fallo y procedimiento de ajuste/corrección.

Las modificaciones del dato del reloj se podrán realizar desde las pantallas situadas en los puestos de conducción pertenecientes al sistema informático y desde el CCM, actualizándose este dato en el resto de los equipos. Se deberá registrar en la memoria de eventos y caja negra dicha modificación, con indicación de los datos del reloj de tiempo real antes y después de la modificación, con objeto de disponer de la trazabilidad de dichas intervenciones.

También la introducción del dato de temperatura consigna para los equipos de climatización de un tren se podrá efectuar desde las pantallas situadas en el puesto de conducción y desde el CCM.

En fase de proyecto se definirán que parámetros deben enviarse al tren desde el CCM y que parámetros o variables se quieren leer del tren y enviarse al CCM a través de la red de comunicación que se determine.

Todas las tarjetas y equipos instalados en los trenes deberán publicar en el sistema informático embarcado del tren su correspondiente número de serie, de manera tal que se pueda consultar y/o extraer la arborescencia de tarjetas, equipos, ... montados en el tren en cualquier momento.

Los módulos de entradas-salidas E / S (interfaces entre el sistema informático y los equipos del tren) dispondrán de como mínimo de un 10 % de entradas y salidas de reserva, en previsión de posibles modificaciones posteriores al proyecto. Dichos módulos deberán estar diseñados para poder trabajar directamente con tensión de batería sin necesidad de adaptadores intermedios de tensión.

El sistema informático embarcado deberá incorporar funciones de autodiagnóstico de fallos, averías y eventos para determinar su estado operacional:

- a) Fuera de servicio.
- b) Modo degradado con reducción de prestaciones.
- c) Incidencia que no afecta al servicio.
- d) Correcto.

Esta función es de nivel superior a la monitorización y al registro local de eventos en los equipos. El propio equipo debe poder diagnosticar el origen de la anomalía y acotarlo de la forma más precisa posible. Estas informaciones deben enviarse al CCM y a la Cochera, y mostrarse en la pantalla de monitorización del puesto de conducción.

La monitorización de los interruptores automáticos/térmicos del tren deberá permitir identificar de forma clara las afectaciones a equipos o funciones que puedan impactar en el servicio, la seguridad, la disponibilidad o el mantenimiento.

La monitorización podrá realizarse de forma individual o por grupos funcionales, siempre que la agrupación propuesta permita diagnosticar adecuadamente la incidencia, identificar el sistema afectado y definir las acciones de mantenimiento o explotación necesarias.

En fase de proyecto, el Adjudicatario presentará una propuesta de monitorización de térmicos, indicando los térmicos monitorizados individualmente, los monitorizados por grupo, la función

asociada a cada grupo, el impacto operativo de su disparo, las alarmas generadas en el sistema informático y los criterios de actuación. Dicha propuesta deberá ser validada por FMB.

El Adjudicatario deberá diseñar unos protocolos de pruebas que permitan verificar la totalidad de las funciones de mando, informaciones y modos degradados del sistema informático. Dichos protocolos deberán entregarse y ser validados por FMB en fase de proyecto.

2.12.2 Puesta en marcha y desconexión del tren

2.12.2.1 Introducción

La puesta en marcha y desconexión del tren podrá ser de 2 tipos:

- Local: Será la utilizada cuando el tren se encuentra en modo de conducción manual y obviamente requerirá presencia de personal cualificado en cualquiera de los dos puestos de conducción del tren.
- Remota: Será la utilizada cuando el tren se encuentra en modo de conducción automática, no requerirá presencia alguna de personal en tren ya que se realizará a través del canal de comunicaciones bidireccional tren-tierra que en su momento se determine.

2.12.2.2 Puesta en marcha y desconexión local

A continuación, se realiza una descripción del proceso de conexión y desconexión local del tren, aunque durante el desarrollo del proyecto el Adjudicatario deberá proponer aquellas modificaciones del proceso que a su criterio o por requerimientos funcionales del sistema puedan introducir mejoras, las cuales deberán estar adecuadamente justificadas.

En cada puesto de conducción existirá un pulsador para ordenar la conexión de la batería de todo el tren, y otro que pueda desconectarla. Si tras conectar batería, en un puesto de conducción se activa la llave de gobierno, desde la otra no se podrá desconectar batería ni continuar conectando o desconectando equipos de tren.

El pulsador con el que se solicita la desconexión de baterías deberá integrar protección mecánica con objeto de evitar su activación no deseada. Las maniobras de conexión y desconexión de baterías deben ser seguras y quedar garantizadas ante errores del sistema informático o de las comunicaciones.

Desde que se conecta la batería de todo el tren hasta que el sistema informático queda preparado para ejecutar las órdenes de puesta en marcha, transcurrirá un tiempo máximo de tres (3)

minutos, con objeto de no penalizar la disponibilidad del tren ante la posible necesidad de reiniciarlo en servicio.

Una vez quede conectada la batería de todo el tren y en la pantalla correspondiente del puesto de conducción se indique de forma automática que el sistema se encuentra preparado para aceptar y ejecutar órdenes de puesta en marcha, existirán dos formas diferentes de poner en servicio todos los equipos:

- Puesta en Marcha Manual (PMM).
- Puesta en Marcha Automática (PMA).

El proceso contrario, desconectar los equipos del tren, también podrá realizarse de dos formas diferentes:

- Desconexión Manual (DM).
- Desconexión Automática (DA).

Desde cualquier puesto de conducción, sin llave de gobierno conectada en tren, o sólo desde el que permanezca conectada, se podrá lanzar cualquiera de las órdenes PMM, PMA, DM y DA mediante el accionamiento del pulsador correspondiente. Si la orden lanzada es una PMA el sistema realizará, por lo menos, las siguientes operaciones:

- a) Subir los pantógrafos de todo el tren.
- b) Conectar los grupos convertidores de todo el tren.
- c) Conectar los compresores de todo el tren.
- d) Encender el alumbrado de servicio del compartimento de pasajeros.
- e) Conectar los equipos de aire acondicionado de todo el tren.
- f) Conexión de cualquier otro equipo que el Adjudicatario considere conveniente incluir en la PMA.

La PMA seguirá la siguiente secuencia de conexión de equipos: compresor auxiliar, pantógrafo, convertidor, compresor, aire acondicionado, alumbrado, otros a definir.

El convertidor y el compresor principal precisarán confirmación de conexión del equipo que les antecede, y en caso contrario se detendrá la secuencia.

La DA desconectará los equipos siguiendo la secuencia: alumbrado, aire acondicionado, compresor principal, convertidor y pantógrafo.

El convertidor y el pantógrafo precisarán confirmación de desconexión del equipo que los antecede.

Todas estas operaciones también podrán realizarse manualmente, equipo por equipo, utilizando su propio pulsador de PMM.

El sistema ofrecerá siempre de forma simultánea: la posibilidad de utilizar cualquiera de los dos tipos de puesta en marcha (PMA y PMM) o la de utilizar cualquiera de los dos tipos de desconexión (DA y DM). En general se podrá solicitar al sistema, de forma aleatoria y sin necesidad de guardar pauta temporal alguna, cualquier opción de las cuatro mencionadas en este párrafo, sin que ello suponga problema alguno para que el mismo responda de forma instantánea a la última orden solicitada. En caso de que se procediera a la PMM y no se activarán los compresores, el tren daría un aviso a través de la interface con el personal de conducción, para alertar y evitar salir a servicio comercial, sin generación de aire.

Los mandos de conexión y desconexión manual y automática deberán estar dispuestos de forma que resulten fácilmente localizables, identificables y comprensibles para el personal de conducción y mantenimiento.

Estos mandos podrán estar implementados mediante pulsadores físicos, interfaz en pantalla de conducción o una combinación de ambos, siempre que la solución garantice una operación clara, segura y coherente con la arquitectura del tren.

Cuando las funciones no se encuentren físicamente en posiciones contiguas, deberán estar agrupadas funcionalmente en la interfaz de mando correspondiente, con simbología, nomenclatura, jerarquía de menús y confirmaciones de operación que eviten errores de uso.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar la propuesta de disposición de mandos físicos y/o en la pantalla de conducción, que será validada por FMB.

Cuando desaparezca la tensión de catenaria se deberá detener de forma automática el funcionamiento de los equipos conectados a la alta tensión. Tras la recuperación de la AT se lanzará automáticamente una orden de re arranque de dichos equipos.

Con objeto de proteger la batería, el equipo que gestione la PMA / DA realizará una desconexión automática del tren (incluyendo batería), cuando no exista ninguna llave de gobierno conectada o mando remoto activo y sin tensión de catenaria más de 15 minutos (configurable por FMB). Este tiempo podrá ser modificado por personal de mantenimiento. Debe evitarse que esta protección de baterías se active en situaciones no deseadas en las que se pudieran ocasionar

trastornos en la funcionalidad nominal o degradada de un tren en servicio. El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá proponer una solución que consensuará con FMB.

Tras el lanzamiento de una orden de PMA, DA, PMM o DM el personal de conducción debe recibir de forma automática información visual, sobre el estado de los equipos durante el proceso, de tal forma que pueda realizar un seguimiento completo del mismo. Las posibles incidencias se indicarán en la pantalla del puesto de conducción correspondiente mediante Estados Operacionales Incorrectos e indicaciones específicas, adjuntando guía de actuación si fuese necesario.

En general, el sistema de puesta en marcha y desconexión del tren deberá ser ágil, sencillo, intuitivo y robusto, por lo que será de gran importancia la cantidad y calidad de la información que en tiempo real reporte el sistema sobre el estado del proceso.

2.12.2.3 Puesta en marcha y desconexión remota

Los procesos de puesta en marcha y de desconexión remota deberán poder realizarse sin presencia de personal en el tren mediante órdenes lanzadas desde el CCM a través del canal de comunicaciones bidireccional tren-tierra que en su momento se determine. El sistema de tren suministrará la información sobre las posibles incidencias que puedan darse durante el proceso, así como del estado final del tren (Fuera de servicio, Modo degradado con reducción de prestaciones, Incidencia que no afecta al servicio o Correcto). Dicha información será enviada al CCM y a la Cochera en tiempo real.

El Adjudicatario en fase de proyecto propondrá, describirá y justificará el sistema a emplear, que deberá ser consensuado con FMB.

2.13 AIRE ACONDICIONADO, CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN (L)

La sala de pasaje deberá ir equipada con un sistema de aire acondicionado y la cabina deberá ir equipada de un sistema de climatización. Éstos estarán separados y serán independientes.

Se dispondrá de trampillas accionadas automáticamente que permitan abrir o cerrar el paso de aire exterior y de retorno. Las trampillas deberán estar monitorizadas por el sistema informático del tren.

El Adjudicatario en fase de Ingeniería del proyecto justificará mediante cálculo los volúmenes de ventilación de aire fresco necesarios para garantizar niveles aceptables de CO₂ en servicio normal, tomando como hipótesis una calidad del aire exterior de 400 ppm de CO₂, una emisión de 32 g de CO₂ por viajero y hora, y la ocupación correspondiente a la condición de carga “masa de diseño bajo carga útil normal”.

Los equipos de aire acondicionado de sala dispondrán de compuertas motorizadas de aire —air dampers— de entrada de aire exterior. A partir de las informaciones recibidas del equipo de detección de incendios dichas compuertas deberán actuar abriéndose o cerrándose. El tipo de accionamiento será aprobado por FMB durante la fase de proyecto.

El fluido refrigerante deberá cumplir con legislación medioambiental vigente. Deberá tener un GWP menor de 700. El Adjudicatario deberá garantizar el suministro dicho fluido refrigerante a lo largo de la vida del equipo. En caso de utilizar fluidos inflamables, se deberá realizar un análisis de riesgos que deberá ser validado por FMB.

En caso de montar conductos de aire en el equipo, estos serán de fácil limpieza, con superficies internas lisas, asimismo, debe preverse un buen acceso y fácil desmontaje para su limpieza en el exterior del coche.

Para sus revisiones y/o reparaciones, cada uno de los equipos se deberá poder desmontar independientemente por el techo, de la forma más sencilla y segura posible.

Los filtros de los equipos de aire acondicionado tendrán una capacidad filtrado tipo G4 según ISO779, o su equivalente clasificación mínima ISO COARSE mínimo del 60% según la norma ISO 16890. Además, se deberá implantar un sistema de filtrado de virus con una reducción de actividad de un 99% según ISO 18184:2019 (entorno laboratorio ISO 17025) y de actividad de bacterias de un 99% según norma ISO 20743.

Todas las operaciones de mantenimiento se deberán poder realizar con equipo montado. Los filtros se cambiarán con una frecuencia igual o superior a noventa (90) días garantizando las

correctas prestaciones del equipo. Los filtros de aire de los equipos de sala pasaje y cabina podrán ser cambiados desde el interior del tren.

2.13.1 Equipo de aire acondicionada de sala de pasaje

El sistema debe poder regular de forma automática la temperatura de consigna del interior de cada coche por separado en función de la temperatura interior, así como permitir configurar de forma local y desde el CCM, a través del canal de comunicaciones que determine FMB en fase de proyecto, una temperatura de consigna diferenciada para cada coche por separado.

El sistema estará formado por un sistema compacto por coche situado en el techo diseñado de tal manera que internamente forme dos (2) circuitos independientes. En caso de avería de uno de ellos, el otro equipo seguirá funcionando, manteniendo prestaciones.

Los compresores serán herméticos y no requerirán de ningún tipo de mantenimiento. Dispondrán de una mirilla, para comprobar el nivel de aceite.

El circuito frigorífico dispondrá de un sensor de humedad y mirilla de burbujeo directa y visibles.

La estructura y sus bandejas de recogida de aguas serán de acero inoxidable o aluminio con bajantes directos e independientes para cada bandeja de recogida con un punto de acceso para limpieza con aire a presión.

La potencia de los equipos será la necesaria para poder aclimatar el interior de los vehículos con las condiciones climáticas de túnel y exterior de FMB. Los cálculos para los equipos se someterán a la aprobación de FMB. En fase de proyecto se presentarán los valores de consumo eléctrico del equipo en condiciones extremas.

El sistema de sala de pasaje deberá cumplir con lo especificado en la norma EN 14750-1 en clasificación de vehículos de Categoría B.

Se instalarán compuertas móviles (dampers) que regularán la renovación del aire en el retorno del aire de sala y en la entrada de aire exterior. Existirán 3 modos de operación de dichas compuertas que podrán ser seleccionados desde cabina de conducción:

- Modo 1: funcionarán de forma automática priorizando la temperatura de consigna realizando la mayor renovación de aire posible.
- Modo 2: máxima apertura quedando el sistema anulado.
- Modo 3: máximo cierre garantizando de forma continua la máxima renovación de aire, independientemente de la temperatura de consigna.

2.13.2 Equipo de climatización de cabina

El puesto de conducción, definido desde el punto de vista de confort ambiental como de categoría A según norma EN 14813-1, dispondrá de:

- Sistema de climatización para mantener una temperatura adecuada en el interior tanto en los meses de invierno como en los de verano, teniendo en cuenta que existen tramos de circulación del tren a la intemperie.
- El sistema de aire acondicionado será independiente del coche de pasaje. Podrá regularse el flujo de aire y la temperatura a voluntad del personal de conducción dentro del rango de confortabilidad establecido en RD486/97. La temperatura del habitáculo de conducción, por ser un lugar donde se realizan trabajos sedentarios estará comprendida entre 17 y 27 °C.
- Se garantizará una humedad relativa entre el 30% y el 70%.
- Las corrientes de aire acondicionado, producidas por las salidas de aire en el tren, su límite será de 0,25 m/s.
- La diferencia de temperatura entre la parte superior e inferior de la cabina no debe ser superior a 3°C (medido a partir de 10 cm a nivel del suelo y 10 cm por debajo del nivel del techo).
- Se dispondrá de calentadores a nivel del piso.
- Existirá un sistema de renovación de aire para los casos en que por ausencia de tensión de catenaria o por avería no funcione la climatización.
- El sistema de control del equipo de cabina será fácilmente accesible.
- Se garantizará un mínimo de renovaciones de aire de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador. Se deberá considerar que pueden estar a la vez dos personas en cabina.
- Las salidas de aire deben disponer de aletas de dirección regulables, velocidad salida del aire regulable y orientables desde la pantalla de ayuda a la conducción o desde el pupitre de conducción, sin necesidad de una actuación manual directa en las aletas por parte del personal de conducción.

2.13.3 Mando y control del sistema

El sistema de mando y control gestionará el normal funcionamiento en servicio del equipo de aire acondicionado, estableciendo una lógica de control que no permita el arranque simultáneo de cargas conectadas en paralelo que pudieran generar sobrecarga en los convertidores estáticos.

Cada equipo de aire acondicionado incorporará un panel de control en un lugar accesible para los técnicos de la línea en horario de servicio. Se especificará su ubicación durante el proyecto, y se someterá a la aprobación de FMB.

Debe existir comunicación entre cada uno de los equipos de control del aire acondicionado y el sistema informático del tren a través del bus del mismo, con objeto de poder consultar los datos e incidencias en la pantalla del puesto de conducción.

El aire acondicionado dispondrá de 5 niveles de funcionamiento (Desconexión, Ventilación, Alto, Medio y Bajo) que forzará al equipo de aire acondicionado a trabajar en las condiciones asociadas a cada posición:

Desconexión: El equipo de aire acondicionado permanece parado.

Ventilación: Sólo se mantienen las funciones de ventilación y renovación de aire, quedando desactivada la parte de frío.

Frío Alto: El equipo de aire acondicionado pasa a trabajar con la consigna de temperatura baja preestablecida.

Frío Medio: El equipo de aire acondicionado pasa a trabajar con la consigna de temperatura media preestablecida.

Frío Bajo: El equipo de aire acondicionado pasa a trabajar con la consigna de temperatura más alta preestablecida.

El mando de puesta en marcha, desconexión y niveles de funcionamiento de los equipos lo realizará el Sistema Informático del tren. A través de la pantalla del equipo informático embarcado del tren se podrán lanzar las órdenes de puesta en marcha o desconexión en sus diferentes modalidades (manual o automática).

Se podrá variar las consignas de temperatura desde el puesto de conducción o de forma remota desde el CCM, a través del canal de comunicaciones que se defina en fase de proyecto. El cambio de estos parámetros sólo podrá efectuarlo personal autorizado.

La consigna de temperatura del interior del coche será programable de forma independiente por coche y por cabina.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá efectuar un estudio justificativo de la posibilidad de mantener la generación de aire acondicionado cuando un convertidor estático está fuera de servicio. A tal efecto, el sistema informático reconfigurará los equipos de aire acondicionado alimentados por el convertidor estático operativo, con objeto de redistribuir la generación de frío a lo largo del tren de forma uniforme y garantizando que no se genere hielo en las unidades evaporadoras.

El equipo deberá publicar las variables necesarias tanto para el mantenimiento como para la resolución de incidencias en la red informática del tren. Dichas variables serán definidas junto con FMB en fase de proyecto.

El equipo deberá monitorizar y enviar la información al sistema informático de las temperaturas, humedades relativas, presiones y consumos (compresor y ventiladores evaporadoras) en la sala de pasaje, cabina de conducción y exterior.

El equipo dispondrá de un sistema de diagnóstico que, en caso de anomalía, enviará un mensaje de fallo al sistema informático del tren.

El control del aire acondicionado dispondrá de un registro histórico de incidencias y averías en una memoria no volátil de llenado cíclico. Los registros estarán datados en tiempo real y estarán acompañados del contexto de señales necesario en cada caso para poder interpretar el origen de la incidencia al recuperar los registros.

El equipo deberá ir provisto de un software de mantenimiento, la información será tratada mediante conexión a PC portátil o bien a través del equipo embarcado de tren pudiéndose enviar al CCM. Dicho software permitirá realizar las siguientes operaciones:

- Ayuda al mantenimiento del sistema.
- Extracción e interpretación de registros históricos de incidencias y averías.
- Rutinas de mantenimiento que permitan validar el correcto funcionamiento del equipo.
- Obtención de información del sistema en tiempo real.
- Y otras que pudieran considerarse oportunas durante el proyecto.

Todo el software necesario para llevar a cabo estas operaciones estará integrado en una sola aplicación y será suministrado a FMB por el Adjudicatario, junto con la documentación y

formación necesaria para su correcta utilización tres (3) meses antes de la entrega del primer tren a FMB. Las funcionalidades de la aplicación deberán ser validadas por FMB en fase de proyecto.

2.13.4 Ventilación de emergencia

El sistema de ventilación de emergencia estará formado por un equipo de ventiladores-extractores, alimentados desde la tensión de la batería.

El sistema de ventilación de emergencia estará alimentado por onduladores que trabajarán a partir de la tensión de batería, la cual deberá garantizar su funcionamiento como mínimo durante 90 minutos cuando falte alta tensión. El cálculo de las renovaciones de aire será sometido a la aprobación de FMB.

El Adjudicatario justificará mediante cálculo, para condición de carga 'masa de diseño bajo carga útil normal', el período durante el cual el nivel de CO₂ se mantiene por debajo de 10.000 ppm con ventilación de emergencia alimentada por batería. Dicho período será ≥ 30 min y se incluirá en la documentación del proyecto.

La ventilación de emergencia será independiente en cada coche y permanecerá en servicio siempre que exista llave de gobierno conectada (mando manual) o el sistema de conducción automática haya tomado el mando del tren y no esté funcionando el equipo de aire acondicionado. Se deberá contemplar una temporización de la conexión de la ventilación de emergencia, con objeto de evitar solapes con el aire acondicionado en las transiciones de arranque y paros de corta duración del mismo.

Se deberán contemplar los modos degradados del sistema informático para determinar los casos en los que debe entrar la ventilación de emergencia.

En el caso de que la ventilación de emergencia falle, el personal de conducción será informado mediante la pantalla del equipo de monitorización (en conducción manual).

El funcionamiento será el siguiente:

<i>Tensión de catenaria</i>	<i>Llave Gobierno</i>	<i>Ventilación (emergencia y AA)</i>
SI	SI	Funciona el Aire acondicionado

NO	SI	Ventilación emergencia funciona un mínimo de 90 minutos.
NO	NO	Ventilación emergencia funciona durante 15 minutos y se apaga el tren.
SI	NO	A los 15 minutos se para el Aire acondicionado y se mantiene ventilación de emergencia

La funcionalidad final de este sistema deberá definirse en fase de proyecto y deberá ser validada por FMB.

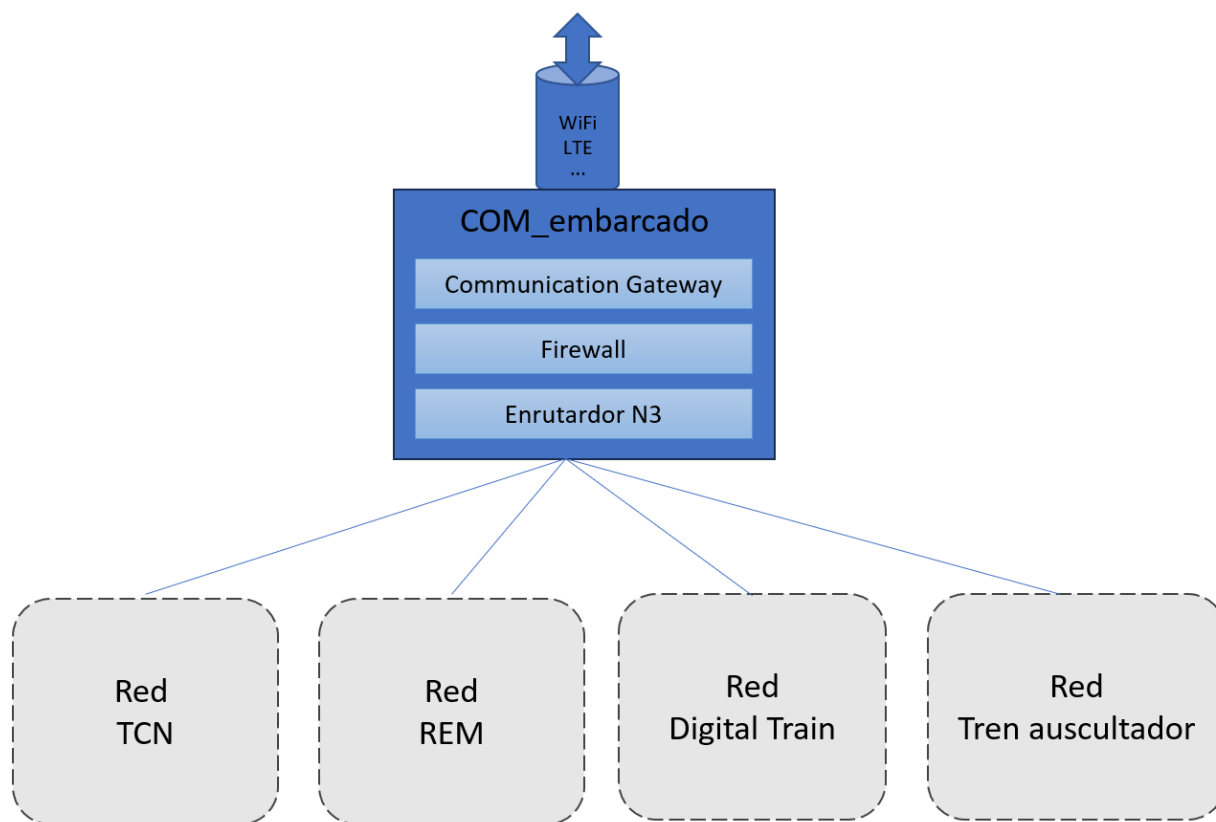
2.14 SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO (M)

Adicionalmente a los requerimientos definidos a continuación, se ha de tener como requerimientos generales para todos los apartados del pliego los indicados en los anexos referenciados en este pliego (Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra v2, Especificaciones Arquitectura v2.7).

2.14.1 Arquitectura de redes ethernet embarcadas

La definición de redes y subredes se realizará en base a la tipología de los sistemas y su criticidad. Este diseño deberá realizarse con una visión general de todas las redes embarcadas, según las normas aplicables legales y de FMB vigentes en cada momento y ser consensuado y aprobado por FMB.

La siguiente imagen muestra la arquitectura y elementos de alto nivel de las redes del tren y su interconexión:



Tal como se muestra en el esquema anterior, las diferentes redes estarán separadas entre sí. El equipo COM_embarcado será el encargado de facilitar las comunicaciones hacia el exterior, así

como de permitir la interconexión entre ellas, garantizando el correcto intercambio de información de acuerdo con la arquitectura definida.

Inicialmente se han identificado un mínimo de 4 redes embarcadas a implantar. En fase de proyecto se revisará y acordará el número de redes y los sistemas/elementos que las forman. Se deberán ampliar si es necesario, siempre de manera acordada con TMB. En concreto:

- Red TCN, definida en el apartado 'Red troncal TCN' del presente pliego.
- Red REM, que alberga entre otros, las CPUs multipropósito y periféricos de video vigilancia e información al usuario vía TFT.
- Red Digital Train, que albergará el equipo digital Train y elementos relacionados.
- Red tren auscultador, definida en el apartado 'Trenes auscultadores'.

2.14.1.1 **Requisitos técnicos cableado redes embarcadas**

Todo el cableado que forme parte de la red REM, así como aquel que se conecte con el equipo COM_embarcado, deberá disponer de crimpado industrial de fábrica. En consecuencia, deberá ser suministrado por el fabricante como conjuntos premontados y completamente confeccionados en fábrica (Factory-Terminated Assemblies).

Cada cable preconfeccionado deberá disponer de un número de serie único y de un certificado individual de ensayos de fábrica (incluyendo, como mínimo, medidas de VSWR y atenuación), que se entregará como parte de la documentación de aceptación del tren.

Adicionalmente, la conexión de la CPU multipropósito y del COM_embarcado con sus respectivas antenas deberá diseñarse y optimizarse con el fin de minimizar las pérdidas de inserción. En esta conexión se incluyen el cable, los conectores y cualquier elemento intermedio que los conecte extremo a extremo. Se deberán garantizar los siguientes requisitos:

- Banda de alta frecuencia (6 GHz): la pérdida total del conjunto no deberá superar los 2,0 dB.
- Bandas inferiores: se deberá asegurar y certificar que la curva de atenuación disminuye proporcionalmente a medida que lo hace la frecuencia.

Para acreditar el cumplimiento de estos requisitos, el Adjudicatario deberá realizar y entregar a TMB la certificación y los resultados de los ensayos correspondientes del primer tren de cada tipo, incluyendo las mediciones realizadas y la metodología empleada.

Asimismo, con el objetivo de minimizar la longitud del cableado entre la CPU multipropósito y el COM_embarcado con sus respectivas antenas, dichos equipos deberán instalarse en los extremos del tren y, preferentemente, en el mismo coche.

2.14.2 COM_embarcado

TMB proporcionará al adjudicatario 2 equipos COM_embarcado y 2 antenas por tren que el adjudicatario deberá implantar. Este equipo dispondrá de las siguientes funcionalidades: Communication Gateway, firewalls y enrutadores N3. Este equipo debe estar redundado en los extremos opuestos del tren y disponer de los mecanismos necesarios para gestionar dicha redundancia. Esta solución deberá ser coherente con la arquitectura del resto de elementos de la red.

Inicialmente se prevé que un único equipo COM_embarcado unifique las tres funcionalidades. No obstante, FMB se reserva el derecho de que el equipo COM_embarcado esté formado por 1, 2 o 3 equipos con su entrega e implantación proporcional de equipos, punto que se indicará en la ejecución del proyecto.

A continuación, se detalla cada una de las funcionalidades del COM_embarcado:

- Enrutador N3: Elemento de red de nivel 3 (a partir de ahora 'enrutador N3') que gestiona la comunicación entre redes y subredes.
- Firewall: Todas las zonas definidas en la red embarcada (redes y subredes) deben comunicarse entre ellas a través de dicho Firewall que permita gestionar la seguridad entre ellas.
- Communication Gateway: El Communication Gateway actuará como gateway de comunicaciones de la red ethernet embarcada con sistemas centrales a través de un APN privado para todos los sistemas embarcados.

Las comunicaciones de los sistemas embarcados con sistemas centrales (vía WiFi y WAN) se realizarán preferentemente a través del Communication Gateway. En este caso estarían por ejemplo sistemas del presente pliego como Digital Train, tren auscultador, CBM, extracción de datos de caja negra, etc. Existen comunicaciones que no irán por este equipo y que se listan a continuación:

- Comunicaciones específicas de la radio DMR.
- Sistemas de video vigilancia (CCTV) y video difusión (SIU) que utilizarán el canal de comunicaciones habilitado por la CPU multipropósito.
- Otros equipos que dispongan de sus propias comunicaciones siempre con direccionamiento privado. En este caso se indicará en el apartado correspondiente del presente pliego.

Cualquier equipo embarcado o central que requieren comunicaciones tren-tierra deberá realizar dicha comunicación a través de un direccionamiento privado de TMB (p.ej.: APN privado TMB, red 5G privada, Wireless privado, etc. según servicios disponibles en infraestructura de tierra de TMB) y contra un firewall de TMB.

Todos los sistemas de comunicación propios del tren o del tren-tierra de cualquier red que sean suministrados por el adjudicatario deberán estar específicamente protegidos frente a ciberataques y deberán cumplir con las normas de referencia que apliquen.

Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de diseñar, integrar, validar, documentar, instalar, configurar y poner en marcha todos los componentes descritos previamente en los trenes, equipos de stock de mantenimiento y laboratorios (switch, rack, cableado...), además de asegurar su integración con el COM_embarcado, para la configuración e instalación de las redes ethernet embarcadas, del cableado troncal, del cableado de todos los equipos que conecten con el switch y resto de elementos (indicados en este apartado o en otros del presente pliego), de la alimentación de todos los equipos, etc.

En caso de ser necesario, el Adjudicatario deberá aportar los elementos y equipos necesarios para adaptar la tensión de alimentación de los equipos anteriormente citados y, posteriores, a la tensión suministrada por el tren.

El Adjudicatario deberá realizar todas las tareas de integración necesarias para que tanto la CPU multipropósito, como el Communication Gateway, tengan comunicación con el resto de los sistemas y/o elementos del tren y, realizar, como mínimo, todas las funcionalidades que se indican en el presente pliego.

2.14.3 Características generales de las redes ethernet embarcadas

De manera general para cada una de las redes del tren y su interconexión, a no ser que se indique lo contrario en su apartado específico, se tendrá que cumplir con los requisitos que se indican en este apartado.

La red física estará compuesta por switches gestionados distribuidos en todos los coches. Cada subred debe tener una arquitectura en anillo que garantice su redundancia y debe disponer de los mecanismos necesarios para evitar bucles.

La red debe estar suficientemente dimensionada para que:

- Todos los elementos de un mismo coche se conecten a los switches del mismo coche, por tanto, el cableado entre coches estará limitado a la conexión entre switches.

- Cada subred debe disponer de un 20% de bocas libres para posibles ampliaciones futuras de cada tipo: Puertos POE, Puertos Gigabit 10/100/1000. Las bocas libres de la misma subred deben estar repartidas de manera equitativa entre todos los coches del tren.

Los switches, como mínimo, deben ser de nivel 2 gestionados en las subredes que permitan configurar distintos segmentos en el mismo switch de manera que se optimice el número de switches por coche y flexibilice su configuración. En siguientes apartados se especifican los requerimientos del switch.

El cableado y los conectores, en su conjunto, deberán ser como mínimo de tipo industrial, categoría 6A S/FTP para Gigabit.

El cableado de la red Ethernet embarcada, cuya ejecución será responsabilidad del Adjudicatario, deberá realizarse utilizando, como mínimo, cableado INDUSTRIAL SERIE M12 X-coded CAT 6A S/FTP (8 pines), 10 Gbps, IP67, o bien un equivalente o superior en los siguientes casos:

- Cuando se elija otro tipo de conector compatible con los equipos que se conectarán a la red Ethernet de metro;
- Cuando las necesidades globales de los sistemas conectados requieran prestaciones superiores a las ofrecidas por este cableado;
- Cuando las condiciones de instalación así lo aconsejen, por ejemplo, mediante el uso de cableado apantallado para evitar interferencias electromagnéticas.

Cualquier discrepancia respecto a estas especificaciones deberá ser consensuada y aprobada previamente por FMB.

Todos los elementos de la red ethernet y, su cableado, deberán ser industriales cumpliendo certificado bajo la normativa EN50155/61373/45545-2 para equipos embarcados ferroviarios con puertos Gigabit 10/100/1000 necesarios en cada caso para interconectarse entre ellos.

2.14.3.1 Switch

Los switches como mínimo deberán ser Switch Industrial M12 para instalación en vehículos ferroviarios, conforme a las normativas EN50155, EN61373, EN45545-2 y funcionalmente debe ser compatible con UNE-EN IEC 61375. El equipo deberá disponer de al menos 12 puertos M12 X-coded Gigabit 10/100/1000 Mbps con soporte PoE/PoE+ IEEE 802.3at/af y IEEE802.3ad Port trunk with LACP, IEEE802.3ad Link Aggregation Control Protocol (LACP), IEEE802.1AB Link Layer Discovery Protocol (LLDP), con capacidad de entrega de hasta 30W por puerto.

Será un switch gestionado mínimo de nivel 2+, con soporte para protocolos de redundancia avanzados como Open-Ring, RSTP, MSTP o STP. Deberá contar con funciones de alta disponibilidad, incluyendo:

- QoS con prioridad por puerto y etiquetas VLAN (802.1p/Q).
 - Servidor y cliente DHCP, IGMP Snooping/Querier.
 - Monitorización remota mediante SNMP v1/v2c/v3, RMON, y Syslog.
 - Soporte para Dual Power Input redundante de amplio rango (ej. 24-110VDC), con protección contra sobrecarga, inversión de polaridad y relé de alarma configurable ante fallo de alimentación o pérdida de enlace.
 - Recomendable que disponga almacenamiento de configuración redundante.
 - Alta resistencia a vibraciones, impactos y condiciones extremas de temperatura, con grado de protección mínimo IP67.
 - Cada equipo deberá disponer de los siguientes LEDs:
 - De alimentación: Power 1 (Verde), Power 2 (Verde), FAULT (Rojo)
 - De estado del propio sistema: R.M. indicator (Verde)
 - PoE: Link/Actividad (Verde) (PoE model)
 - Todos los puertos de cobre: Link/Actividad (Verde)
 - Módulo de bypass en los puertos de cobre que permita pasar al siguiente switch en caso de fallo de alimentación.
 - El switch deberá ser capaz de operar en ambientes exigentes y permitir la conexión fiable de equipos terminales tanto PoE como no PoE dentro de una infraestructura Ethernet embarcada, con capacidades avanzadas de diagnóstico, seguridad (como autenticación 802.1X), y tolerancia a fallos.
- MTBF mínimo de 400.000 horas, según estándar IEC 61709 o equivalente.

En caso de ser necesario, el Adjudicatario deberá aportar los elementos y equipos necesarios para adaptar la tensión de alimentación a la tensión suministrada por el tren.

Todos los equipos que se conecten a las bocas del switch deberán estar acordados y tener la correspondiente autorización previa del departamento de tecnología de TMB.

Se debe proporcionar a TMB las herramientas para poder evolucionar, actualizar, modificar, configurar, gestionar y operar los switches incluyendo su Software/Firmware. El Adjudicatario debe entregar todas las herramientas, código fuente, documentación, etc. necesario para realizar las tareas anteriores. Estas acciones se podrán realizar por parte de TMB durante todas las fases del proyecto y con posterioridad a este, independientemente de las garantías u otros factores que apliquen sobre el tren.

Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de proporcionar todos los componentes necesarios (switch, rack, cableado...) para la configuración e instalación del switch, del cableado troncal, del cableado de todos los equipos que conecten con el switch, de la alimentación de todos los equipos, etc.

2.14.4 Elementos a entregar a FMB

El Adjudicatario deberá entregar los siguientes elementos como mínimo 6 meses (26 semanas) antes del inicio de las pruebas tipo del tren:

- 7 switches.
- Antena WiFi 7 (compatible con 5 y 6).
- 4 pantallas de video difusión al pasaje.
- 4 cámaras de pasaje + 2 cámara de cabina.
- 2 monitor cabina CCTV.
- Documentación descriptiva de las variables del TCN que se publiquen por CIP (o protocolo que aplique). Se ha de listar y describir todas las tramas/objetos incluyendo la descripción de detalle de cada una de sus variables (p.ej.: sistema al que hace referencia, nombre y descripción de la variable, posibles valores en modo normal y excepciones o valores por defecto, en caso de variables del tipo estados indicar que estados puede tomar y su significado, etc.). Esta documentación debe permitir a TMB conocer la información que se publica y su interpretación en cualquier operativa del tren.

Los elementos mencionados en este punto son equipos adicionales a los solicitados en otras secciones del pliego o anexos (p. ej., el anexo relativo a garantía, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, entre otros) a nivel de volumetría, pero han de coincidir con los mismos

modelos/configuraciones que se entreguen en el resto de los puntos del apartado 'SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO'.

El retraso en la entrega del material indicado en este punto o de la información necesaria para completar los desarrollos de software que FMB debe proporcionar al Adjudicatario conllevará un retraso proporcional en la entrega de dicho software. Este retraso deberá ser asumido por el adjudicatario e integrado en su planificación, sin que ello afecte al resto de aspectos del tren (otros sistemas, fases, hitos de entrega, etc.).

En caso de que alguno de los elementos indicados disponga de nuevas versiones durante el desarrollo del proyecto, deberán entregarse a FMB los correspondientes paquetes de actualización, así como las herramientas y el manual necesario para su correcta instalación. No obstante, FMB podrá solicitar al adjudicatario la actualización de dichos equipos a las nuevas versiones.

2.14.5 Modelo de datos FMB

Los equipos dentro de la Red ethernet embarcada compartirán la información siguiendo el modelo de datos de FMB que se basa en una API MQTT y REST con estructura de datos en JSON. Para dar de alta nuevos mensajes (topics) se tendrá que pactar con FMB su contenido y formato. Cualquier sistema conectado a la Red ethernet embarcada podrá subscribirse a los topics que considere necesarios previa autorización de FMB.

Será responsabilidad del Adjudicatario publicar en el protocolo de la red TCN todas las variables relativa a variables propias del tren y sus sistemas que FMB considere como necesarias y que lleguen a las CPUs multipropósitos (y a otros equipos que así se indiquen en fase de ingeniería) para poder cubrir con las necesidades de los sistemas que se encuentran en la REM, como podrían ser los sistemas de información al usuario o video difusión, sistema de video vigilancia, etc. Dichas variables deberán ser correctas (en forma, contenido y tiempo/refresco) y coherentes con el estado del tren y su funcionamiento, aplicando en caso de ser necesario aquellos ajustes o correcciones necesarias. El Adjudicatario deberá disponer del tratamiento, combinación de datos origen necesario y modos degradados para que la información que proporcione sea la correcta. Y en el caso que FMB así lo solicite, se podrán filtrar las variables a enviar. Queda bajo la responsabilidad del Adjudicatario todo lo necesario para la publicación de dichas variables como, por ejemplo: ingeniería, desarrollos, validaciones, documentación asociada, pruebas y análisis in situ y remoto en caso de que se reporte una anomalía de dichas variables y su corrección, dar soporte a los otros sistemas que se han de integrar en la CPU multipropósito para la adquisición/integración de dichas variables adaptándose a la planificación y desarrollos de dichos sistemas de terceros, etc.

Durante la fase de ingeniería de proyecto se acabarán de especificar las variables a publicar en el TCN con destino la CPU multipropósito según las necesidades de FMB y sistemas, pudiendo ser ampliadas posteriormente. Estos deberán proporcionar entre otros a definir en fase de proyecto (lista NO exhaustiva):

- La información necesaria para que los sistemas de video vigilancia, comunicaciones, megafonía e Interfonía, etc. puedan realizar todas sus funcionalidades. Como, por ejemplo: accionamiento de elementos de emergencia con su información de contexto, pulsación de interfonos, puertas (estado, posición, lado de abertura próxima parada, selección de lado, bloqueo de puerta, etc.), cabina habilitada, intrusión, accionamiento de tiradores, extintores, etc.
- La información necesaria para identificar y localizar el tren en cada momento. Número de cada coche, número de servicio, número de personal de conducción, línea actual, última línea detectada, vía, circuito de vía, vía de la próxima estación destino con parada, código de línea e itinerario, código de estación actual, código de próxima estación, código de próxima estación con parada, distancia recorrida en metros desde la última parada, distancia recorrida por el tren desde la puesta en marcha con resolución de metros, metros pendientes para la próxima parada, punto kilométrico donde se encuentra el tren, información de proximidad a la siguiente estación, parada actual, modo de conducción, odómetro, momento de emisión del tren para el sistema de video difusión, baliza, odometría (velocidad, acelerómetro...), etc.
- La información necesaria para que el sistema de video difusión pueda realizar todas sus funcionalidades. Como, por ejemplo, otras variables no indicadas en puntos anteriores: momento de emisión (tanto el evento/estado como las variables que se utilicen para su cálculo), activación/desactivación de mensajes del conductor (identificador, versión de lista de mensajes, etc.), etc. Como guía, estas variables deben permitir como mínimo implementar todas las funcionalidades, plantillas y contenidos descrito en el anexo "Manual Funcional Pantallas Videodifusio nous trens 2025 v1.pdf" del presente pliego de prescripciones técnicas. En dichos documentos, se definen las funcionalidades a grandes rasgos que debe cumplir el sistema de pantallas y video difusión. Esta información es orientativa, pues durante la fase de ingeniería del proyecto se acabará de definir.
- Variables de gestión energética del tren y sus componentes, por ejemplo: estado de batería, variables relacionadas con el apagado/encendido del tren), estado energético de equipos y periféricos, relacionado con notificaciones y ordenes (de

apagados, reinicios, envío de órdenes de forzado/liberación energética, timeouts...), etc.

- Toda la información de ayuda al motorista y que esté disponible en las pantallas del puesto de conducción, así como las alarmas e información de mantenimiento que disponga cada equipo. También el estado de todos los elementos del puesto de conducción de las dos cabinas (llave de gobierno, manipulador, etc.) y elementos de emergencia/seguridad del tren.
- Otra información de interés como: condiciones ambientales por ubicación (temperatura, ventilación...), peso por coche y ocupación del tren y coches, etc.
- Otras variables que FMB indique en fase de proyecto.

2.14.6 CPU Multipropósito

FMB facilitará al Adjudicatario 2 CPU multipropósito por tren que tendrá que implantar en la red REM. Esta CPU albergará sistemas y servicios transversales como pueden ser la video vigilancia CCTV, video difusión de TFTs al pasaje (también llamado SIU), etc. y que se describirán en siguientes apartados. También dispondrá de comunicaciones tren-tierra exclusivo para los sistemas CCTV y SIU.

Cada CPU incluirá un módem LTE/5G, un módulo WiFi 7 compatible con WiFi 5 y 6 ya integrados y una tarjeta de audio. Estas CPUs multipropósito albergarán los sistemas de videovigilancia y video difusión de las TFT de información al pasaje y otros servicios transversales. Adicionalmente, serán los elementos encargados de proporcionar las comunicaciones con sistemas centrales a través de los canales de comunicaciones inalámbricos más apropiados en función de la ubicación del tren y las coberturas disponibles para los sistemas de video vigilancia y video difusión.

El Adjudicatario será responsable de diseño, integración, implantación y validación de dichos equipos en el tren. Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de proporcionar todos los componentes necesarios (rack, cableado...) para la configuración e instalación de las CPUs multipropósito, del cableado entre las dos CPU's multipropósito, del cableado al switch, de la alimentación de todos los equipos, antenas, etc.

En caso de ser necesario, el Adjudicatario deberá aportar los elementos y equipos necesarios para adaptar la tensión de alimentación de las CPU multipropósito a la tensión suministrada por el tren. Uno de los equipos deberá estar conectado al circuito de batería en permanente, con el fin de continuar la grabación de las cámaras retrovisoras y frontal cuando el tren no esté en servicio.

2.14.6.1 Características técnicas (HW y Plataforma)

El equipo suministrado por FMB como CPU multipropósito será un PC industrial homologado para entornos ferroviarios conforme a la EN 50155, cuyas dimensiones no excederán de 300 x 270 x 100 mm. Adicionalmente, se deberá tener en cuenta el espacio necesario para sus conectores y el margen que FMB indique para posibles evoluciones futuras del mismo.

Dicha CPU multipropósito actualmente es una CPU industrial customizada a medida para FMB basada en Sintrones, la cual, tiene un sistema operativo con Debian 13 junto a la plataforma Linux industrial de FMB.

2.14.6.2 Funcionalidades e integraciones Software

A nivel software la CPU multipropósito realiza las siguientes funcionalidades transversales, que se atribuyen a la aplicación 'nodo de comunicaciones' dentro de dicha CPU:

- Realiza la función de gateway integral de comunicaciones tren-tierra para el sistema de video vigilancia y video difusión, gestionando de forma transparente el uso de los diferentes tipos de comunicaciones de los que dispone el tren: WiFi (principalmente en depósitos y zonas de retiro) y WAN (actualmente LTE) al resto de sistemas embarcados para su comunicación con sistemas centrales.
- Proporciona servicios de comunicaciones y de red transversales, como pueden ser: Sincronismo horario vía NTP...
- Proporciona información sobre el estado de las comunicaciones al resto de sistema tal como se define en el apartado modelo de datos FMB.

Por último, indicar que la comunicación entre el nodo de comunicaciones y los sistemas centrales de FMB se realiza a través de un APN privado interno de FMB. Los trenes tienen IPs dinámicas y se registran en el DNS para obtener el hostname. Cabe destacar que, por disponibilidad, hay dos nodos de comunicaciones (CPUS multipropósito) por tren con su lógica de redundancia y las implicaciones que ello tiene para la publicación de IPs y hostnames.

Cualquier cambio técnico, actualización, ampliación o variación de configuración Hardware o Software que no se incluya por defecto en la CPU multipropósito o cualquier aplicación que resida en ella deberá ser previamente consensuada y aprobada por FMB.

El Adjudicatario deberá realizar todas las tareas de integración necesarias para que la CPU multipropósito tenga comunicación con el resto de los sistemas y/o los elementos del tren y realizar, como mínimo, todas las funcionalidades que se describen en el presente pliego y en su

software por defecto. El Adjudicatario también es el responsable final de la integración y validación de los sistemas de video vigilancia y video difusión garantizando su correcto funcionamiento extremos a extremo. Algunas de estas tareas de integración se indican en el siguiente listado no exhaustivo, adicionales a las ya mencionadas en este y otros apartados del presente pliego:

- La CPU multipropósito tendrá la funcionalidad de Gateway de comunicaciones del sistema video vigilancia y video difusión y, por tanto, también será el encargado de traducir los datos que reciba de la TCN como se define en el apartado modelo de datos FMB. Esto debe permitir que el resto de los sistemas de la Red ethernet embarcada obtengan/envíen aquella información del/hacia el tren que necesiten para poder implementar todas las funcionalidades.
- Integraciones y adaptaciones necesarias para adaptar el sistema de video vigilancia, video difusión y control de acceso a cabina base de FMB a las características concretas del tren.
- Reporte del estado y alarmas de la CPU multipropósito y sus sistemas internos, al sistema global embarcado de monitorización de alarmas si aplica (decisión por parte de FMB en fase de ingeniería del proyecto).

FMB entregará el software base a integrar en la CPU multipropósito desarrollado por un tercer proveedor (que dispone de derechos de exclusividad) y que incluye funcionalidades básicas acordadas por FMB. Previo a esta entrega de software, el Adjudicatario tendrá que firmar los acuerdos de confidencialidad que FMB considere oportunos. El proveedor del sistema de video vigilancia dará soporte en remoto al Adjudicatario para realizar aquellas modificaciones o ampliaciones de funcionalidades que sean necesarias en la CPU multipropósito para cumplir con los requerimientos del presente pliego y su integración con el resto de los elementos del tren o entornos centrales. Asimismo, se podrán realizar, entre el sistema de video vigilancia y de video difusión, un máximo total de 10 sesiones presenciales en las dependencias del Adjudicatario, destinadas a dar soporte a ambos sistemas. Cualquier cambio técnico, actualización, ampliación o variación de configuración del equipo y/o software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por FMB. Como premisa general, se tendrán que adaptar las funcionalidades ya existentes o previstas en el software para su correcta integración con el nuevo tren y sus sistemas. No es cometido de la CPU multipropósito asumir otras funcionalidades diferentes a las que tiene implementadas en la actualidad (o que se le asignan en el punto '2.13.4 CPU multipropósito' del actual pliego) y que deberán ser implementadas en otros sistemas.

2.14.6.3 Hitos y entregas

A continuación, se enumeran algunos hitos y entregas que FMB proporcionará al Adjudicatario:

- 1er mes (4 semanas) tras la formalización del contrato:
 - Entrega de documentación básica del equipo CPU multipropósito (datasheet, esquema eléctrico básico necesario y funcionalidades básicas).
 - Entrega de la documentación básica del software que FMB proporcionará para instalar en las CPUs multipropósito referente al software de nodo de comunicaciones.
- 5º mes (20 semanas) tras la formalización del contrato:
 - Entrega de la primera unidad de hardware antes de 5 meses después de la firma del contrato.
- 8º mes (32 semanas) tras la formalización del contrato:
 - La documentación completa de la CPU multipropósito (por ejemplo: funcionalidades completas, checklist de validación del equipo sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario, etc.)
 - La documentación completa del software base (por ejemplo: funcionalidades completas, proceso de instalación y checklist de validación del equipo, sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario, etc.)

La parte documental que corresponda a las integraciones y validaciones que ha de realizar el Adjudicatario quedarán bajo su responsabilidad, aunque deberán ser aprobadas por FMB. El Adjudicatario tendrá que adaptar sus tareas y planificación acorde a los tiempos marcados anteriormente sin que este hecho suponga una merma o afectación en su planificación, hitos de entrega y fabricación.

2.14.6.4 Antenas exteriores

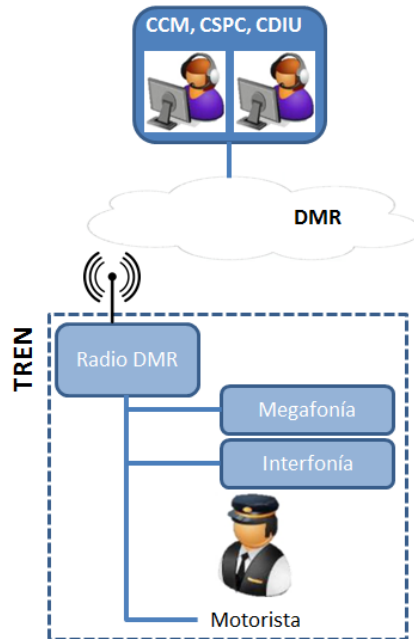
El Adjudicatario será responsable de la adquisición, el cableado y la instalación, en el techo del tren, de una antena MIMO 4x4 para 5G y WiFi 7 (compatible con 5 y 6), incluyendo su soporte en techo, por cada CPU multipropósito, así como del cableado desde la antena hasta la CPU.

Asimismo, el Adjudicatario deberá determinar la ubicación óptima de las antenas. A tal efecto, deberá presentar un estudio de cobertura que justifique la ubicación propuesta, incluyendo el correspondiente mapa de cobertura.

Las antenas tendrán conector Fakra y serán de perfil bajo, baja corrosión y cumplirán con las certificaciones del ámbito ferrocarril.

2.14.7 Sistema de Radio DMR

La operativa para la comunicación radio tren-tierra, se muestra en el esquema general cuyos detalles se especifican posteriormente:



Modelo operativo para el sistema de radio embarcada

El personal de conducción podrá iniciar y recibir conversaciones hacia/desde el CCM.

El sistema permitirá realizar comunicaciones de grupo y comunicaciones individuales.

En caso de compartir el sistema de radiocomunicaciones con otros sistemas (megafonía, Interfonía), su operación debe utilizar canales que en ningún caso afectarán las comunicaciones del personal de conducción.

En caso de utilizar el sistema de radiotelefonía para transmitir datos, su operación no debe interrumpir las comunicaciones del personal de conducción.

Se dispondrá de dos equipos por redundancia y criticidad, uno en cada cabecera del tren. En caso de caída de un equipo, el personal de conducción podrá comunicar por el otro equipo, con independencia de la cabina en la que se encuentre.

Debe poder realizarse la carga local de actualizaciones de software y firmware de los equipos de forma local mediante una conexión física con el PC y software correspondientes cumpliendo con los requisitos de ciberseguridad que se enumeran en el apartado específico.

Se podrá realizar la gestión unificada desde un único puesto de gestión de radiocomunicaciones, tanto para líneas convencionales como automáticas.

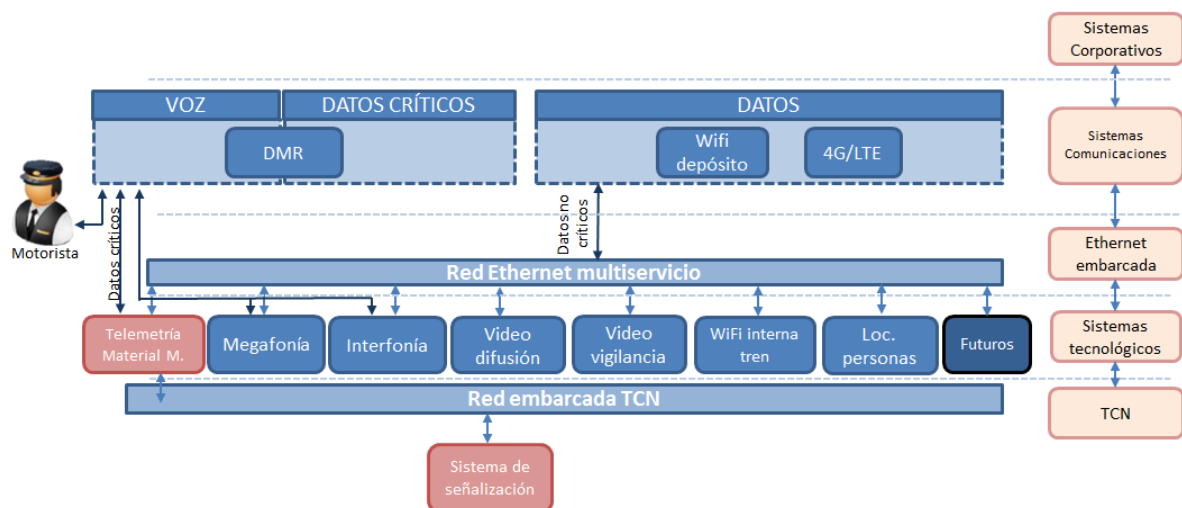
Se deben almacenar en el Centro de Control todas las conversaciones de Radiotelefonía. Estas grabaciones deben ser fácilmente exportables.

El sistema de radio debe poder reportar su estado y alarmas a un sistema global embarcado de monitorización de alarmas.

El sistema de radio debe reportar su estado y alarmas a un panel de control en la cabina del personal de conducción.

Cada cabecera del tren dispondrá un rack de radio DMR y de un pupitre radio para el personal de conducción. Se dispondrá de una conexión redundante entre racks, para que, en caso de fallo de un rack, conmute automáticamente al otro rack.

El siguiente esquema de comunicaciones presenta un ejemplo de la interconexión necesaria de los equipos utilizados para comunicaciones.



Ejemplo de solución tecnológica para el sistema de radio embarcada

2.14.7.1 Alcance del sistema Radio DMR a poner en servicio

SERÁ ALCANCE de esta licitación:

- Instalación, verificación y puesta en servicio del Rack Radio DMR en cada cabina de tren (2 racks por tren). Incluye todas las pruebas de homologación necesarias para integrar el equipo Rack Radio DMR en el tren y su integración con redes y sistemas internos del tren (red interna de comunicaciones, Interfonía, megafonía).
- Instalación, adaptación, verificación y puesta en servicio del Pupitre Radio DMR de motorista de cada cabina de tren (2 pupitres por tren). Incluye todas las pruebas de homologación necesarias para integrar el equipo pupitre radio DMR en el tren y su integración con redes y sistemas internos del tren (red interna de comunicaciones, Interfonía, megafonía).
- Suministro, instalación, verificación, pruebas y puesta en servicio de la antena exterior radio en cada cabina de tren (2 antenas por tren).
- Suministro, instalación, verificación, pruebas y puesta en servicio de todo el cableado necesario para la conexión del sistema Radio DMR de un tren, incluyendo todos los conectores necesarios.
- Suministro, instalación, verificación, pruebas y puesta en servicio del Cargador de terminal portátil (walkie) en cada cabina de tren (2 cargadores por tren).

NO SERÁ ALCANCE de esta licitación, ya que lo suministrará FMB, el siguiente equipamiento:

- Suministro del Rack Radio DMR configurado de cada cabina de tren (2 racks por tren).
- Suministro del Pupitre Radio DMR configurado de personal de conducción de cada cabina de tren (2 pupitres por tren).

El Adjudicatario será el responsable del diseño de implantación de todos los equipos y cableados del sistema radio DMR en el tren, así como de la instalación, aportando el material necesario para ello. Además, el Adjudicatario participará en las pruebas de integración y validación del sistema, así como en la puesta en servicio.

El Adjudicatario entregará toda la documentación necesaria para el mantenimiento y operación de todos los equipos del sistema radio DMR del tren (manuales de operación de los usuarios, documentación para el mantenimiento de los equipos (planos de montaje, listado de materiales, planos electrónicos de las placas electrónicas, listado de material de las placas)), así como la documentación as built (que incluirá especificaciones, data-sheets, planimetría, etc.).

2.14.7.2 Rack de Radio DMR

El rack de radio DMR de los trenes será el equipo embarcado ferroviario del fabricante Hytera/Ervocom. Cada cabina deberá estar dotada con un rack Radio DMR.

El transceptor radio será el modelo Hytera MD785G, HM785G o equivalente, integrado en el rack de radio ferroviario modelo ErwocomTRS2090.

El TRS2090 estará construido según las recomendaciones de la IEC 60297 y estará planteado como un sistema para trenes con dos cabinas de personal de conducción. Cada TRS2090 estará equipado con 2 elementos:

- ZSE2130 La unidad central de control
- La caja redundante de conmutación TRS (que cambia, en caso de fallo, automáticamente de un ZSE al otro)

El diagrama de bloques del ZSE2130 será el siguiente:

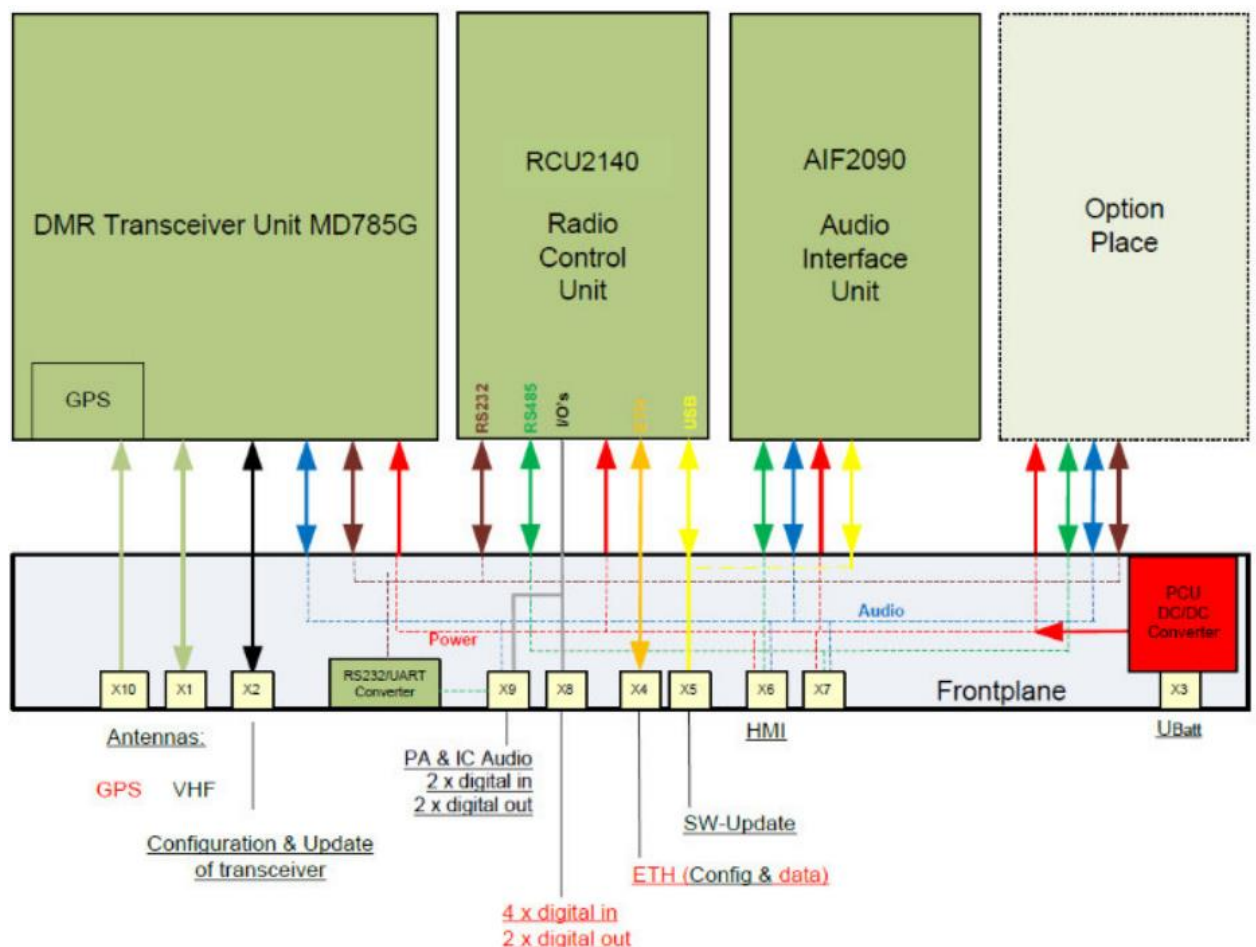
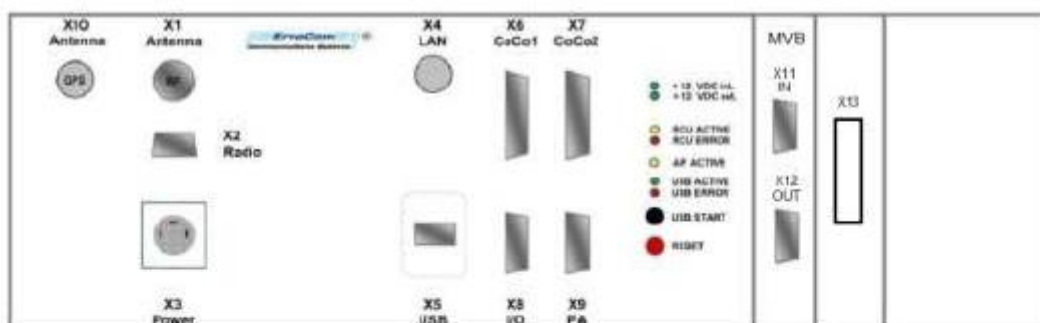


Diagrama de bloques del ZSE2130

A continuación, se muestran las dimensiones y los conectores del TRS2090, que tendrán la siguiente configuración:



Dimensiones del TRS2090



Connector	Description
X1	N female
X2	USB-B
X3	D-SUB 3W3/SPS
X3	DIN43650 male
X4	M12-D
X5	USB
X6	D-SUB 25/I
X7	D-SUB 25/I
X8	D-SUB 15/I
X9	D-SUB 15/I
X10	TNC female
X11	D-SUB 9 female
X12	D-SUB 9 male
X13	Undefined

Conectores del ZSE2130

Las características técnicas del sistema de radio digital DMR a instalar en los convoyes serán las siguientes:

- Convertidor de 72V (integrado en el rack de radio).
- Redundancia de radio cabeza-cola.
- Con conexión a la red troncal (TCN).
- Interconexión con Megafonía.
- Interconexión con Interfonía.
- Conexión Red Troncal Embarcada.

La tensión en cabina para la conexión del rack radio será de 72V. El Adjudicatario será el responsable de, en caso de ser necesario, adaptar el DMR a la tensión y conexión del tren a la Red Troncal TCN.

Dispondrá de la función de radio megafonía. Determinados mensajes que el centro de mando quiera lanzar al pasaje, pasarán directamente del equipo de radio al sistema de megafonía. Se podrá hacer tanto de forma manual (acción requerida por parte del conductor, para conectar la radio al sistema de megafonía del tren), como de forma automática (mediante la recepción de mensajería de estado de señalización DMR a la radio, para activar remotamente la conexión hacia el sistema de megafonía).

A nivel de Interfonía, en la situación en que el conductor no atienda una petición de interfono del pasaje pasado un número de segundos (a determinar) el interfono se conectará con el equipo radio y permitirá establecer una comunicación de audio half-duplex entre el pasaje del tren y los usuarios del grupo que esté seleccionado en el terminal radio.

Debido a que el sistema radio es half-duplex, es necesario que el sistema de Interfonía embarcada señalice el PTT (push to talk) hacia la radio. Esto se puede realizar, mediante la pulsación del interfono (el pasaje debe pulsar para hablar), pero preferiblemente se realizará de la siguiente forma:

- Cuando el equipo de Interfonía embarcada hace petición de conexión a la radio y le envía señal de PTT, la radio se pone en transmisión y envía el audio que viene del interfono. Este audio no se escucha en la Consola de Comunicación (CoCo).
- Si desde CCM interrumpen la comunicación (pulsan PTT), el audio de CCM se escuchará por el interfono y por el CoCo.

- Cuando CCM deje de transmitir, se vuelve a emitir el audio de la Interfonía.
- Pasados 90 segundos de la conexión con la radio, la Interfonía da orden de cortar la llamada (señaliza hacia la radio).

También será posible que desde CCM realicen una llamada a un interfono determinado. En esta situación, igual que con la megafonía (mediante la recepción de señalización DMR a la radio), se podrá dialogar con el equipo de Interfonía para solicitar poner en comunicación la radio con un interfono determinado. Una vez establecida la comunicación, la centralita de Interfonía deberá mantener la señalización PTT de forma constante, para que el interfono pueda comunicar de manera continuada con CCM. CCM, al tener prioridad de PTT, podrá interrumpir para hablar.

Deberá existir una interfaz para las comunicaciones con el equipo de radio de la cabeza opuesta y otra de audio y control con los sistemas megafonía y de Interfonía.

Deberá existir una interfaz de comunicación con el ordenador de a bordo a través de la red TCN del tren.

Deberá existir una interfaz Ethernet adaptada al entorno ferroviario (M12) para las comunicaciones que puedan realizarse a través de la red de comunicaciones embarcada Ethernet. Los puertos no utilizados se deberán proteger con conectores 'ciegos'.

2.14.7.3 Pupitre Radio DMR del personal de conducción

Cada cabina deberá estar dotada con un pupitre radio DMR del personal de conducción.

Cada pupitre radio DMR embarcado del motorista incluirá los siguientes elementos:

- Consola de comunicaciones modelo CoCo2167 del fabricante Ervocom con una modificación del diseño para que la pantalla-display y el teclado estén en posición vertical. Esta consola será totalmente compatible con el rack radio DMR (del fabricante Ervocom / Hytera).
- Microauricular telefónico con tecla de transmisión incorporada (PTT) del fabricante Peitel modelo HA11. Las características técnicas del microauricular se muestran a continuación.
- Altavoz modelo SM09D1 del fabricante Hytera o equivalente (impedancia 8 ohms, potencia 20 W). Las características técnicas del altavoz se muestran a continuación.

Las dimensiones de la Consola de comunicaciones CoCo2167 y del Microauricular se muestran a continuación.

HA11

Handset with
one button and cradle

Article-No.:
2506-035-000-51



Product:

Characteristics

- Dynamic ear and microphone capsules
- Large push-to-talk button
- Durable PEIGUM® spiral cable
- Cradle with locking mechanism for the handset with release button
- Automatic hook switch mechanism in the cradle
- Connection via screw-down terminal strip

Options

- Loudspeaker in the cradle
- Cradle with force release mechanism
- Flame resistant plastic housing
- Amplifier (built into in the A10 cradle)
- Electret microphone capsule

Application Range

- Radio and PA systems in mobile and fixed applications

Accessories

- Cradle loudspeaker 4 Ω
- Cradle loudspeaker 8 Ω

Scope of Delivery

- Handset with PEIGUM® spiral cable and cradle

Technical Data:

General

Housing:	Plastic PC-ABS, black
Dimensions with cradle:	Height 85 mm, Width 63 mm, Depth 213 mm
Weight:	380 g (13.4 oz)
Connection:	12 cond. terminal strip in the cradle, 6-wires halogen free PEIGUM® spiral cable, 2 wires shielded, Draw length max. 1.35 m
Operating and display elements:	1 button, orange release buttons, black
Storage temperature:	-30 °C to +70 °C (-13 °F to +158 °F)
Operation temperature:	-20 °C to +60 °C (-4 °F to +140 °F)

Microphone

Frequency range:	200 Hz to 6 kHz at -10 dB
Sensitivity (in LRGP):	1 mV/Pa (-60 dBV/Pa ± 3 dB)
Impedance:	200 Ω ± 20 % at 1 kHz
Directivity:	Omnidirectional

Earpiece

Frequency range:	300 Hz to 4 kHz at -10 dB
Sensitivity:	26 dBPa/V ± 3 dB (IEC 3.2 Low-Leak coupler)
Impedance:	300 Ω ± 20 % at 1 kHz
Maximum output:	10 mW

Características técnicas del Microauricular del Pupitre Radio DMR embarcado

Highlights:

1. Being mountable on a horizontal or vertical surface.
2. The fixing bracket is adjustable.
3. The large speaker with high output power provides clear audio even under noisy environment.
4. DB25 pin audio port.

Speaker Specifications:

Rated Impedance: $8\Omega \pm 15\%$ (@ 500Hz) ;

Sound Pressure Level: $88 \pm 2\text{db}$ (1w/1m) (@ 600/700/800/900Hz AVE) ;

Rated Power: 15W Max. Power: 20W;

Dimensions: 155.6*92.5*140.2(mm);

Weight: about 774g;

Operating Temperature: -25°C~65°C

Application: for broadcasting.

Compatible Radios: MT680, MD780, MD880T

Características del Altavoz de Hytera SM09D1 del Pupitre Radio DMR embarcado

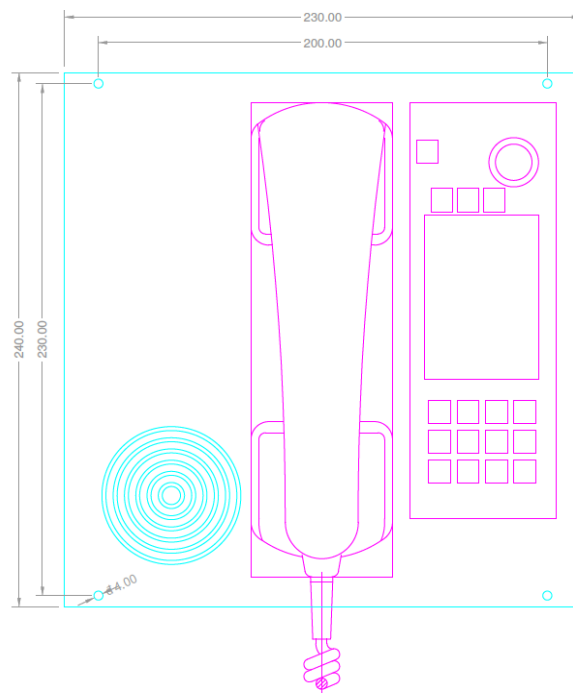


*Dimensiones de los elementos (Consola CoCo2167 y Microauricular) del Pupitre Radio
Ervocom / Hytera*

Todo este equipamiento tendrá que estar integrado, conectado y mecanizado en un Pupitre Radio DMR embarcado según se detallará a continuación. En caso de avería, la sustitución deberá ser fácil de realizar.

Todo el conjunto de pupitre radio DMR embarcado tendrá que estar diseñado, fabricado y certificado bajo la normativa EN-50155 para material electrónico embarcado en material ferroviario.

A continuación, se muestran las dimensiones y disposición de los elementos que tiene que incluir el Pupitre Radio DMR embarcado:



Modelo de pupitre radio DMR embarcado con el conjunto de elementos integrados

La comunicación radio con el Centro de Control, podrá establecerse desde cualquiera de las cabinas de conducción de forma que no sea audible por el pasaje. En el momento de recibir la llamada, el personal de conducción descolgará el microauricular y se establecerá la comunicación a través del mismo desconectándose el altavoz.

2.14.7.4 Antena Radio del tren

Cada cabina deberá disponer de una antena radio instalada en el exterior, que se conectará al rack radio de cada una de las cabinas.

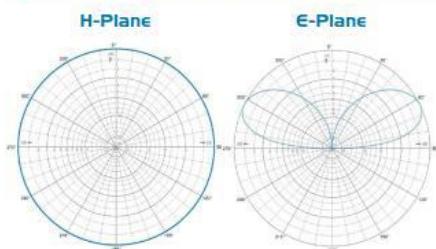
Las antenas radio exteriores podrán ser:

- Modelo VHF 403-2 del fabricante Skymast, con las siguientes características:



Frequency range	138-220MHz (3-4MHz Tx bandwidth)
Input impedance	50Ω
VSWR	<2.0:1
Maximum input power	50 Watts
Polarisation	Vertical
Gain	1dBi
Grounding	Direct grounded
Ground plane required	Typical 1.2m x 1.2m
Connection	Cables / connector to requirements
Dimensions	673 x 144 x 62mm
Mounting holes	2 x 25mm holes, 517mm centres
Weight	1.5kg approx
Housing material	ABS
Other materials	Aluminium, PTFE, Brass, Nylon
Colour	Traffic White RAL9016
Operating temperature range	-30°C to +70°C
Storage temperature range	-50°C to +70°C
Relative humidity	5% to 95%RH
Water resistance	To IP67 (external, when installed)

Free space radiation patterns



Mounting accessories

Standard stock models

Stock code | Frequency

Manufactured to requirements

Características de la Antena VHF 403-2 del fabricante Skymast

- Modelo BP-0270 del fabricante Lambda Antenas, con las siguientes características:

Especificaciones Eléctricas / Electrical Specifications	
Frecuencia / Frequency	145 ~ 174 / 380 ~ 470 MHz
Impedancia / Impedance	50 Ω
Potencia máxima / Maximum power	50 W
R.O.E. / V.S.W.R	< 1,5
Ganancia / Gain	< 0 dBi
Montaje / Mounting	5 drill holes
Especificaciones Mecánicas / Mechanical Specifications	
Rango de temperatura / Temperature range	-30 ~ +60 °C
Conectores / Connectors	N female
Dimensiones / Dimensions	145 x 80 x 175 mm
Peso / Weight	500 g

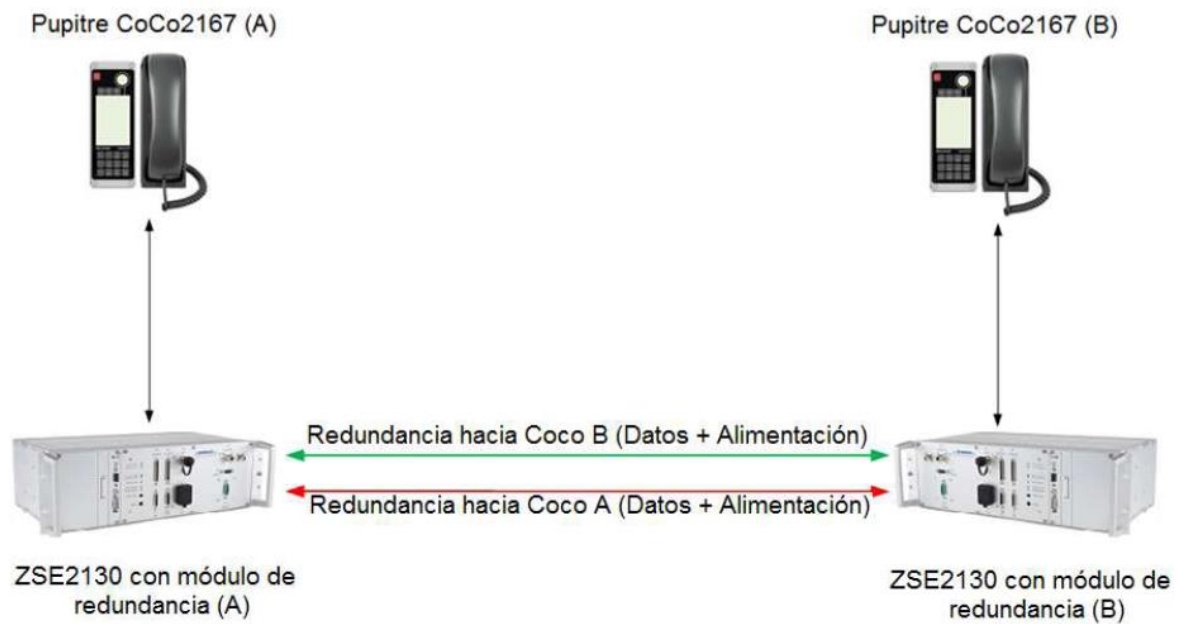


Características de la BP-0270 del fabricante Lambda Antenas

El rango de frecuencias en el que funcione la antenna será el que se indica en las características de la antenna, incluyendo el rango de frecuencias del sistema Radio DMR de Metro que está en el rango de frecuencias de 170 MHz.

2.14.7.5 Cableado necesario para la conexión del sistema Radio DMR

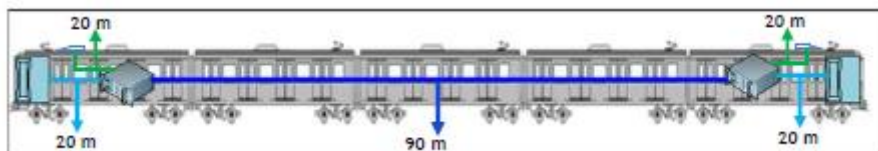
La arquitectura de interconexión entre los equipos con redundancia del sistema radio DMR del tren se muestra a continuación:



Interconexión entre equipos con redundancia del sistema de radio DMR

El Adjudicatario deberá instalar todos los cableados necesarios en el tren para la conexión de todos los equipos del sistema radio DMR que, como mínimo, serán los siguientes. Los cableados incluirán los conectores finales de los cables para su posterior conexión a los equipos radio:

El esquema del cableado de los trenes para el sistema de radio será el siguiente:



Esquema de cableado de los trenes para el sistema de radio

El cableado necesario para interconectar el equipamiento se detalla a continuación:

- Para las interconexiones entre el Pupitre de radio CoCo y el rack radio TRS serán necesarios unos 20 metros de cable par trenzado apantallado de 5 x 2 x 0.5 mm², en cada una de las cabinas. En caso de que la distancia sea de 10 metros, el cable será par trenzado apantallado de 4 x 2 x 0.5 mm².
- Para la interconexión entre los racks radio TRS del tren serán necesarios unos 100 metros de cable par trenzado apantallado de 3 x 2 x 0.5 mm² y unos 100 metros de cable de 4x2.5mm² para alimentación.

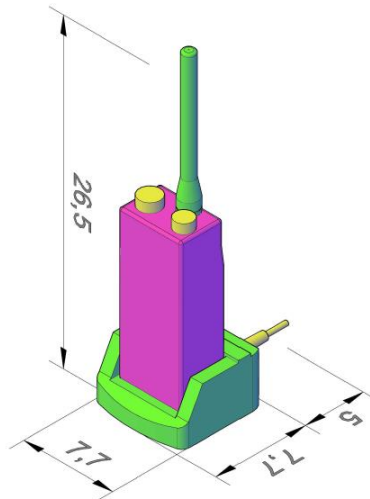
- Para la interconexión entre el rack radio TRS y la antena radio exterior serán necesarios unos 20 metros de cable RG214, en cada una de las cabinas.
- Adicionalmente a las interconexiones entre equipos del sistema radio DMR, se deberá instalar el cableado necesario para la conexión del sistema de radio para las siguientes conexiones con otros sistemas del tren:
 - Red TCN en cada cabina contra rack.
 - Interconexiones Audio con Megafonía.
 - Interconexiones Audio con Interfonía.
 - Conexión Ethernet.

Las distancias que se indican son aproximadas y se deberán adaptar a las que sean necesarias, en función de las distancias finales del nuevo tren y las ubicaciones de los equipos del sistema radio DMR en el tren. FMB deberá validar las características del cableado, previamente al acopio del cableado, por parte del Adjudicatario.

Se exigirá que la conexión entre la central de radio DMR y la antena instalada en el techo del tren se diseñe y ejecute de forma robusta y segura, garantizando su integridad mecánica y eléctrica en condiciones normales de operación ferroviaria, incluyendo vibraciones y esfuerzos dinámicos. En particular, el cableado y cualquier empalme o conector intermedio deberán estar debidamente fijados y asegurados mediante sistemas de sujeción adecuados (tales como bridas, soportes, abrazaderas u otras soluciones equivalentes), evitando tramos en suspensión o sin soporte (“al aire”). Asimismo, las uniones deberán disponer de mecanismos de retención que impidan desconexiones accidentales, asegurando la continuidad del servicio de radiocomunicaciones en todo momento y minimizando el riesgo de fallos por aflojamiento, fatiga o rotura de los elementos de conexión.

2.14.7.6 Cargadores de terminal portátil DMR (walkie) en cada cabina

En cada una de las cabinas del tren se deberá instalar un cargador para el terminal portátil DMR (walkie) del motorista. El modelo del walkie es el PD785G, el HP785G o equivalente del fabricante Hytera, y el modelo del cargador tiene el código de producto CH10A07 (cargador rápido para baterías Litio-ION) (con transformador input 100-240Vac, y output 12 Vdc/ 1A) del fabricante Hytera.



Cotas de altura, anchura y profundidad del cargador con el walkie

2.14.8 Megafonía

El personal de conducción podrá generar mensajes hablados desde el puesto de conducción.

El personal de conducción podrá activar mensajes pregrabados en el tren mediante la introducción del código del mensaje o pulsación de botón dedicado.

En las comunicaciones tren-tierra, se podrán activar mensajes pregrabados en el tren desde el terminal DMR mediante la introducción del código de tren y código de mensaje pregrabado.

Se darán de alta en el tren mensajes pregrabados ya configurados y se dejarán preparados mensajes genéricos para su posible uso por parte de TMB de manera autónoma en un futuro.

En las comunicaciones tren-tierra, se podrá generar mensajes hablados desde el terminal DMR mediante la introducción del código de tren y un código de mensaje hablado.

El nivel del audio reproducido se debe adaptar al nivel de ruido existente en el coche.

Debe poder realizarse la carga local de actualizaciones de software y firmware de los equipos mediante una conexión física con el PC y software correspondientes. También debe poderse realizar las actualizaciones y configuraciones de manera remota y desasistida.

La conexión/sustitución y detección de sus elementos deben ser Plug&Play y con autodetección.

El sistema deberá tener una correcta monitorización de sus elementos. También se dispondrá de un registro en logs analíticos de su actividad, monitorización, KeepAlive, versionado, etc. Así

como la correcta gestión de estos y permitiendo su intercambio con sistemas centrales (recogida y envío bajo ciertas condiciones).

El intercambio de información del sistema con el resto de los equipos de la Red Troncal Ethernet se realizada tal como se define en el apartado modelo de datos FMB.

El sistema deberá reproducir automáticamente el mensaje de siguiente parada, en función de la ubicación del tren.

Deben poder almacenarse en el tren mensajes pregrabados cuya reproducción se asociará a una ubicación y sentido de marcha o cuya reproducción será seleccionada por el personal de conducción o por un terminal DMR con suficientes privilegios.

El sistema deberá reproducir automáticamente el mensaje acústico de cierre de puertas, a partir de una orden recibida por el sistema que controle las puertas.

El tren deberá poder sincronizar los mensajes de megafonía con la emisión de mensajes y contenidos del sistema de video difusión. Este sincronismo puede ser en base a eventos del tren, activación de mensajes pregrabados, a necesidades del propio sistema de video difusión u otros.

El sistema debe estar preparado para que el sistema de video difusión pueda emitir un mensaje y/o fichero de audio a través del sistema de megafonía.

La activación de megafonía remota desde el CCM no debe requerir ninguna acción por parte del personal de conducción (ya sea para la emisión de mensajes de voz desde el Centro de Control o la activación de mensajes pregrabados). Debe ser independiente de las acciones del personal de conducción. En conducción con personal de conducción debe alertarse al personal de conducción de que se está haciendo uso de la megafonía desde el Centro de Control. En esta situación, se prevé una activación remota de la comunicación de la radio con el sistema de megafonía, mediante señalización radio DMR con mensajes de estado. Será necesario prever la señalización (activación y confirmación) desde la megafonía hacia la radio, a efectos que la radio transmita a CCM el estado de las ordenes en todo momento.

En todo caso, la central de megafonía estará preparada para interconectar por protocolo SIP con los sistemas de Megafonía, Telefonía e Interfonía de TMB, de forma que, si se dispone de medio de conectividad TCP/IP fiable entre el tren y CCM, se podrá optar porque esta comunicación (CCM – Megafonía embarcada) se realice por conexión IP, mediante protocolo SIP.

Los mensajes pregrabados se tienen que poder, tanto cargar, como activar remotamente.

Se podrá realizar la carga remota de actualizaciones de software y firmware de los equipos.

Se debe almacenar en local, un log con todos los mensajes, ya sean generados por el motorista como mensajes reproducidos por el sistema de megafonía junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...). Estas grabaciones deben ser fácilmente exportables.

Adicionalmente al requerimiento anteriores que aplica al sistema nativo, también se debe poder grabar todas las conversaciones de megafonía hablada generados por el personal de conducción, junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...), en las CPUs multipropósito.

Se deben almacenar en el Centro de Control todos los mensajes de megafonía hablada generados por los operadores, junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...). Estas grabaciones deben ser fácilmente exportables.

La priorización de mensajes será la siguiente:

- Aviso acústico de cierre
- Mensajes hablados por el personal de conducción.
- Mensajes hablados desde Centro de Control.
- Mensajes pregrabados activados por el personal de conducción.
- Mensajes pregrabados activados remotamente.
- Mensajes automáticos (próxima estación, etc.).
- Otras entradas de audio: música en espera, auxiliar, etc.

El sistema de Megafonía debe poder reportar su estado y alarmas al personal de conducción, tanto a un sistema global embarcado de monitorización remota de alarmas como al Repositorio Central del Centro de Control. En este caso, debe poder empaquetar la información y enviarla al sistema que se lo solicite, según el protocolo de comunicación, validación y encriptación que se defina.

Las fuentes de alimentación (Dual PowerSupply) además de ser adaptables a las características eléctricas del tren deben estar redundadas junto al cableado y topología de conexión y cualquier elemento que se identifique como crítico e implique la existencia de puntos únicos de fallo (SPOF).

El sistema de megafonía soportará tanto la operación local (con personal de conducción como la operación remota (ya sea con personal de conducción o sin él). Será seleccionable si se opera de una forma o de otra, la única diferencia entre ambos modos de funcionamiento será que se puedan generar mensajes de megafonía o activar mensajes pregrabados desde la interfaz de gestión de personal de conducción o desde el Centro de Control. Las centrales de megafonía deberán ser las mismas en ambos casos, variando si acaso únicamente la interfaz de operación y gestión local.

La arquitectura deberá ser IP mediante SIP (SessionInitiationProtocol) con redundancia. Éstas se conectarán entre sí mediante la red Ethernet embarcada.

El sistema de megafonía recibirá información de posicionamiento del sistema de señalización a través de la red TCN de cada tren a partir del cual conocerá la ubicación del tren y podrá lanzar tantos los mensajes automáticos de anuncio de parada como gestionar las flechas de andén.

El nivel de audio de los mensajes (potencia) se ajustará automáticamente y de forma manual desde el puesto de conducción de forma, independiente en cada coche en función del nivel sonoro medido, la detección de peso en el coche o el conteo de personas, o bien la combinación de varios de estos sistemas. El nivel sonoro medido en cada uno de los vagones deberá ser accesible a través del equipo embarcado de tren pudiéndose enviar al CCM dicha información a través del sistema de comunicación que se determine durante el proyecto.

Las centrales podrán almacenar mensajes pregrabados de anuncio de próxima parada u otros mensajes pregrabados activables desde el puesto de operación local o de forma remota desde el Centro de Control. Estos mensajes se almacenarán en una tarjeta de memoria en un formato de audio estándar fácilmente editable por FMB y estos podrán ser gestionados por FMB, de forma local grabando sobre la memoria y de forma remota mediante descargas del Repositorio Central.

Las centrales deben tener un grabador para poder registrar las comunicaciones que se realicen entre el personal de conducción y el pasaje.

El sistema de megafonía tendrá la posibilidad de emitir comunicaciones realizadas por el CCM, que llegarán a través del canal radio tren-tierra. Además, mediante el sistema DMR, se podrán activar los mensajes pregrabados en el tren.

El identificador del tren se podrá seleccionar desde el panel del motorista o remotamente y se enviará al panel identificador mediante un puerto RS485.

2.14.8.1 Altavoces

El número de altavoces, situación y potencia del equipo se determinará de acuerdo con una distribución homogénea del audio de los mensajes, de forma que las instrucciones dadas al pasaje sean perfectamente inteligibles desde cualquier punto del vehículo e independientemente de la velocidad del tren. La información hablada tendrá un nivel STI-PA mínimo de 0,60 fair-good, de acuerdo con la especificación EN 60268-16:2011.

El sistema de comunicación se diseñará de tal modo que al menos la mitad de sus altavoces (distribuidos por todo el tren) sigan funcionando en caso de avería en uno de sus elementos de transmisión. Los altavoces quedarán incluidos en la disposición final del interiorismo y deberán ser accesibles en las operaciones de mantenimiento.

2.14.8.2 Micrófono ambiente

Se dispondrá de un control de ruido ambiente al objeto de poder controlar el volumen de salida de audio. También tendrá una regulación de salida de audio controlada digitalmente por coche desde la pantalla de conducción.

Dispondrá de una función de prueba de forma que tanto desde cabina como remotamente se pueda verificar que la señal de audio del coche presenta niveles correctos de potencia.

2.14.9 Interfonía

Los requerimientos técnicos que debe cumplir como mínimo el sistema de interfonía son:

- La Interfonía será un equipo que funcione en modo full-dúplex.
- El personal de conducción puede iniciar una llamada desde el puesto de personal de conducción a un interfono concreto.
- El personal de conducción puede recibir y contestar las llamadas de un interfono debido a la pulsación del botón de llamada por parte del pasaje.
- El personal de conducción puede recibir y contestar las llamadas de un interfono debido a la activación del tirador de emergencia por parte pasaje.
- Debe poder realizarse la carga local de actualizaciones de software y firmware de los equipos, ya sea mediante una conexión física con el PC y software correspondientes siempre siguiendo la política de ciberseguridad de FMB.

- Las llamadas realizadas por el pasaje que, pasado un tiempo preestablecido en conducción manual o directamente en conducción automática, no son atendidas por el personal de conducción derivan automáticamente al CCM a través del sistema de radio. La centralita de Interfonía dialogará con el equipo radio embarcado, para solicitarle realizar llamada radio y enviarle el audio. La central de Interfonía deberá mantener la señalización de PTT (Push To Talk) de manera continuada, siendo CCM quien pueda interrumpir por prioridad la comunicación. A los 90 segundos de iniciar la comunicación con la radio, la central de Interfonía solicitará la finalización de llamada.
- La central estará preparada para interconectar por protocolo SIP con los sistemas de Telefonía e Interfonía de FMB, de forma que, si se dispone de medio de conectividad TCP/IP fiable entre el tren y CCM, se podrá optar porque esta comunicación (interfono – CCM) se realice por conexión IP, mediante registro SIP
- La activación de Interfonía remota desde el CCM no debe requerir ninguna acción por parte del personal de conducción. Debe ser independiente de las acciones del personal de conducción. Eso sí, en conducción con personal de conducción debe alertarse al personal de conducción de que se está haciendo uso de la Interfonía desde el Centro de Control. Además, desde el CCM debe poderse elegir el interfono con el que se comunica.
- La comunicación remota para Interfonía debe ser independiente de la comunicación remota de megafonía. Se debe poder disponer de canales de comunicación independientes.
- Se deben almacenar en local todas las conversaciones de Interfonía hablada entre el personal de conducción y el pasaje, junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...) en las CPUs multipropósito.
- El sistema de Interfonía debe poder reportar su estado y alarmas tanto a un sistema global embarcado de monitorización de alarmas como a un panel de control en la cabina del personal de conducción.
- Los tiradores de alarma y pulsadores de Interfonía están conectados a las centrales de Interfonía/Megafonía mediante el protocolo adecuado. El sistema de Interfonía se comunica indirectamente con el sistema de video vigilancia y permitirá sistema de video asistencia al pasaje.
- El sistema permitirá que el personal a la conducción anule/corte el enlace de comunicación establecido con el lugar donde se haya disparado una o varias alarmas, por iniciativa propia.

- El sistema permitirá que el personal a la conducción anule/corte el enlace de comunicación solicitado por el viajero, por iniciativa propia.
- La interfaz del dispositivo de comunicación con los viajeros estará indicada mediante una señal armonizada, incluirá símbolos visuales y táctiles y, en caso de activarse, emitirá una indicación visual y acústica.

El sistema de Interfonía deberá soportar tanto la operación local (con personal de conducción) como la operación remota (ya sea con personal de conducción o sin él). Será seleccionable si se opera de una forma o de otra. La única diferencia entre ambos modos de funcionamiento es que se puedan establecer comunicaciones con la interfaz de gestión de personal de conducción o con el Centro de Control. Las centrales de interfonía serán las mismas en ambos casos, variando si acaso únicamente la interfaz de operación y gestión local.

La conexión/sustitución y detección de sus elementos deben ser Plug&Play y con autodetección.

El sistema deberá tener una correcta monitorización de sus elementos. También se dispondrá de un registro en logs analíticos de su actividad, monitorización, KeepAlive, versionado, etc. Así como la correcta gestión de estos y permitiendo su intercambio con sistemas centrales (recogida y envío bajo ciertas condiciones).

El intercambio de información del sistema con el resto de los equipos de la REM se realizará tal como se define en el apartado modelo de datos FMB.

2.14.10 Video vigilancia

El sistema de video vigilancia tendrá como funciones principales:

- Sistema de videovigilancia interno del tren.
- Sistema de retrovisión.
- Transmisión en tiempo real de imágenes al motorista. Imágenes interiores entre estaciones y exteriores en estaciones.
- Transmisión de imágenes del sistema de videovigilancia interior de un tren hacia el CCM con posibilidad de selección de tren y cámara desde el CCM.
- Grabación de audio de los interfonos bajo ciertas condiciones.

El CCTV deberá cumplir con la ley 15/1999 de protección de datos.

Como se ha dicho en el apartado 2.13.4 CPU multipropósito, FMB facilitará dos CPU multipropósito por tren, las cuales, tendrán integrado el software base para gestionar el sistema de videovigilancia facilitado también por FMB.

El Adjudicatario será el responsable del resto del alcance de suministro del sistema de videovigilancia, incluyendo por ejemplo (lista no exhaustiva):

- El diseño de implantación de todos los equipos en el tren, su configuración, instalación, validación, puesta en marcha y documentación, aportando el material necesario para ello.
- Las pruebas de integración, checklist funcional y validación del sistema.
- Será responsabilidad del Adjudicatario realizar, de manera coordinada con FMB, las pruebas estáticas y dinámicas del sistema (preparación de documentación y realización de dichas pruebas con la aprobación y supervisión de FMB, etc.). Todas las pruebas que sean posibles se realizarán de manera remota con FMB.

Las CPUs multipropósito estarán conectadas mediante la red Ethernet embarcada para la transmisión de vídeo y señales de control y con la red TCN embarcada para la supervisión por parte del sistema de monitorización del tren.

Las CPUs multipropósito gestionarán la recepción de imágenes de todas las cámaras del tren y su almacenamiento, así como la distribución de imágenes en directo o, almacenadas, al puesto de operación del motorista o, a los equipos de comunicación tren-tierra a través del sistema de comunicaciones embarcado.

El sistema de video vigilancia soportará tanto la operación local (con motorista) como la operación remota (ya sea con motorista o sin él).

2.14.10.1 Software de video vigilancia

Como se ha dicho en el apartado anterior, FMB facilitará, junto a la CPU multipropósito, el software base para gestionar el sistema de videovigilancia

El proveedor del sistema de video vigilancia dará soporte en remoto al Adjudicatario para realizar aquellas modificación o ampliación de funcionalidades que sean necesarias en el software para cumplir con los requerimientos del presente pliego y su integración con el resto de los elementos del tren o los entornos centrales. Asimismo, se podrán realizar, entre el sistema de video vigilancia y de video difusión, un máximo total de 10 sesiones presenciales en las dependencias del Adjudicatario, destinadas a dar soporte a ambos sistemas. Cualquier cambio técnico,

actualización, ampliación o variación de configuración del equipo y software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por FMB.

El Adjudicatario deberá realizar todas las tareas de integración necesarias para que el sistema de video vigilancia tenga comunicación con el resto de los sistemas del tren y realizar, como mínimo, todas las funcionalidades que se describen en el presente pliego y de base del software original. Algunas de estas tareas de integración se indican en el siguiente listado no exhaustivo:

- Integración del resto de elementos del ecosistema (monitores de cabina, cámaras, etc.).
- Proporcionar la información necesaria para que el sistema de video vigilancia pueda ofrecer la información que se requiera (p.ej.: número de servicio, motor, número/ubicación de la cámara, fecha/hora, accionamiento de un tirador de alarma, bloqueo de puerta, apertura de puerta frontal, señal de intrusión, cabina habilitada, etc.).
- Reporte del estado y alarmas del sistema de video vigilancia al sistema global embarcado de monitorización de alarmas y sistemas suscritos (p. ej: estado de cada cámara, estado del disco duro, etc.).
- Grabación de audio de los interfonos que apliquen en caso de que se haya accionado algún elemento de seguridad o comunicación del tren a definir durante el proyecto (tirador, etc.). Hay que destacar que la CPU multipropósito a suministrar debe llevar integrada una tarjeta de audio que permite realizar dicha funcionalidad.

Algunas de las funcionalidades que dispondrá el software de video vigilancia serán:

- Todas las cámaras activas se almacenarán en los equipos de almacenamiento del sistema de video vigilancia, sobrescribiendo las imágenes más antiguas cuando se llegue a la máxima capacidad de almacenamiento. La autonomía mínima será de 30 días.
- El equipo de almacenamiento de imágenes realizará una marca en las imágenes almacenadas de la cámara asociada a la activación de un tirador, interfono, detector de incendios, o a un bloqueo/desbloqueo de puertas en caso de activación de éstos. El equipo de video vigilancia deberá registrar el evento en una resolución lo suficientemente clara, para poder permitir el reconocimiento facial de las personas en la zona de actuación del tirador de emergencia activado, al igual que grabar el audio de las conversaciones con una calidad que permita escuchar la conversación de manera clara.
- Debe poder realizarse la carga tanto en remoto como en local de actualizaciones de software y firmware de los equipos asociados al sistema de video vigilancia.

- Selección y visualización o descarga de imágenes almacenadas. Cualquier otra entidad que requiera imágenes almacenadas, debe canalizar la petición desde los centros de control, quien se encargará de la descarga, control y entrega de las mismas.
- Permitirá la grabación en *loopmode*, borrando contenidos más antiguos cuando se llega a la capacidad máxima del disco, para permitir la grabación de contenidos nuevos. Las grabaciones registradas en modo alarma no se borrarán de manera rutinaria, siendo solo posible su borrado de forma manual o bajo ciertos criterios que indique FMB en el momento del diseño del tren.

La parte documental que corresponda a las integraciones, modificaciones software, checklists y validaciones que ha de realizar el Adjudicatario quedarán bajo su responsabilidad, aunque deberán ser aprobadas por FMB. La documentación se deberá entregar como mínimo tres meses antes de la recepción en las instalaciones de FMB del primer tren.

2.14.10.2 Puesto de motorista

El Adjudicatario dotará a los trenes de dos pantallas CCTV cada cabina. Estos equipos permitirán únicamente la visualización en tiempo real de las imágenes captadas por las cámaras interiores/exteriores, sin que existan retardos ni posibilidad de persistencias de estas.

El Adjudicatario también será responsable del software de los monitores, garantizando que cumplan con las siguientes funcionalidades:

- Visualizar las imágenes en directo de todas las cámaras del tren, de forma estática o cíclica, pudiendo llegar a visualizar un mínimo de 4 cámaras simultáneamente.
- En caso de activación de uno de los siguientes elementos, se conmutará automáticamente la cámara asociada en la pantalla del motorista: activación de un interfono, tirador de emergencia, un detector de incendios, un bloqueo/desbloqueo de puertas, presencia en cabina no activa, apertura de puerta frontal...
- Cuando el tren estacione en la estación, se conmutarán automáticamente en la pantalla del motorista, las cámaras retrovisoras del lado de andén seleccionado. Una vez reanudada la marcha, se seguirán mostrando las cámaras retrovisoras durante los primeros 100 metros (metros o tiempo a definir en fase de ingeniería) de salida del andén para verificar que el arranque del tren es correcto. Después del tiempo acordado, se volverá a conmutar el ciclo de cámaras de pasaje.

- Si se recibe una alarma de presencia en cabina no habilitada, se conmutará automáticamente en la pantalla del motorista de la cabina activa, la cámara de dicha cabina. Una vez tomado el mando de dicha cabina, se dejará de mostrar la imagen asociada a ésta.
- Únicamente estará encendido el monitor de la cabina activa. Cuando la cabina no esté habilitada, la pantalla TFT deberá mantener el backlight apagado.

Los requerimientos mínimos del puesto de motorista son: debe ser tipo TFT, dimensiones suficientes para poder visualizar 4 cámaras mediante un generador de cuadrante o elemento similar (como mínimo, de 15 pulgadas), con protección frontal IP54 con brillo regulable automáticamente en función de la luz exterior. Este monitor debe disponer de mecanismos de regulación del brillo accesibles manualmente por el motorista. La selección de regulación del brillo automático o manual y los límites del manual (máximo y mínimo, número de niveles...) deberán poderse habilitar/deshabilitar/configurar por software. Debe tener conexión M12 para conectarse a la REM, además, debe tener un mecanismo de actualización local alternativo al online para posibles evoluciones futuras.

El Adjudicatario será responsable de la adquisición, configuración, implantación y validación de dichos equipos en el tren. Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de proporcionar los monitores con todos los componentes necesarios (rack, cableado, equipos complementarios...) para la configuración e instalación de las TFT de motorista, del cableado entre los distintos elementos, como del cableado al switch, de la alimentación de todos los equipos, su integración en la cabina de conducción, etc.

El Adjudicatario debe proporcionar a FMB las herramientas para gestionar dichos equipos. Estas acciones se podrán realizar por parte de FMB durante todas las fases del proyecto y con posterioridad a este, independientemente de las garantías u otros factores que apliquen sobre los puestos de motorista.

El Adjudicatario se responsabilizará de las pruebas de integración, checklist funcional y validación del sistema. La parte documental que corresponda a las integraciones y validaciones que ha de realizar el Adjudicatario quedarán bajo su responsabilidad, aunque deberán ser aprobadas por FMB.

El Adjudicatario deberá entregar a FMB:

- 10 meses antes del inicio de las pruebas tipo del tren:

- La documentación básica del equipo (datasheet, esquema eléctrico básico necesario y funcionalidades básicas)
- 9 meses antes del inicio de las pruebas tipo del tren:
 - La documentación completa (p.ej.: funcionalidades completas, checklist de validación del equipo sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario, etc.)

2.14.10.3 Cámaras

La ubicación y el número de cámaras de pasaje situadas en el interior de los coches será el suficiente para que no existan zonas de sombra (puntos ciegos) ni de mala visibilidad en todos los coches, incluidos los pasillos de intercomunicación. Deberá disponerse como mínimo cuatro (4) cámaras por coche. También una cámara por pasillo de intercomunicación que permita ver correctamente dicha zona cuando los coches colindantes están muy saturados de pasaje. Todas las cámaras interiores estarán ocultas y adecuadamente protegidas frente a actos vandálicos. Se debe aportar en fase de proyecto un estudio de cobertura, con una ocupación de 4 personas/m², que justifique el número de cámaras a instalar según requerimientos de este pliego.

En el interior de cada cabina se dispondrá además de una cámara con alta sensibilidad que captará la imagen del interior de la cabina sin mando de tren. Si se detecta “presencia en cabina” sin que esté la cabina habilitada, se mostrará en uno de los dos monitores de la cabina con mando la imagen de dicha cámara, con objeto de que el motorista pueda identificar a la persona que ha entrado en el otro puesto de conducción. Dicha cámara deberá tener tanto visión del pupitre como de la puerta de emergencia frontal para dar indicaciones en caso de emergencia. Su funcionamiento se definirá en fase de Ingeniería del proyecto.

En ambos lados del exterior del tren, se instalarán dos cámaras colocadas en los laterales de cada cabina que harán de retrovisores y una frontal para grabar posibles obstáculos o arrollamientos, además se instalarán otras dos cámaras retrovisoras en ambos laterales de los remolques. La visión de los andenes servirá para poder supervisar la entrada y salida de los viajeros al tren y poder reanudar la marcha una vez ha podido comprobar que ha terminado el movimiento de las personas. No deben quedar puntos ciegos que impidan ver la correcta entrada/salida de personas/animales/objetos de todas las puertas. Las cámaras frontales equipadas en el tren deben permitir visualizar la operación de acople, y el modo marcha atrás, que se podrá visualizar de manera clara para el personal de conducción. FMB validará la visualización y posición de las cámaras.

Con el fin de continuar la grabación de las cámaras retrovisoras y frontal cuando el tren no esté en servicio, éstas deberán estar conectado al circuito de batería en permanente.

Los requerimientos técnicos mínimos que deben cumplir las cámaras son:

- Las cámaras deberán ser IP, con color y deben poder configurarse remotamente (calidad, contraseñas...)
- La identificación de la cámara sobreimpresa en la imagen debe ser configurable.
- Las cámaras han de ser de alta sensibilidad con mínima iluminación (0,3 lux en color). Resolución FullHD a 30 imágenes por segundo. Soportar de forma simultánea secuencias de vídeo Motion JPEG y H.264. PoE Plus.
- Deben cumplir las siguientes características: AXIS Video Hosting System (AVHS), Forensic WDR, Zipstream technology, active tampering alarm, brightness control, color contrast control, digest authentication, digital PTZ function, exposure control, exposure zone, guard tour, IP address filtering, image mirror, password protection, progressive scanning, sharpness control, white balance, Lightfinder technology, ONVIF (Profile G) support, ONVIF (Profile S) support, Pixel Counter Support, Privacy Mask Function, Traffic Light mode.
- Las cámaras de cabina deben tener incorporado, además, un detector de movimiento (Video Motion Detection Technology).
- Se debe garantizar que no tendrá lugar condensación en las cámaras.
- Deben cumplir los siguientes protocolos de red:

• ARP	• IPv6	• SFTP	• SNMP 2c	• DHCP	• TCP/IP
• Bonjour	• NTP	• SMB	• SNMP 3	• FTP	• TLS
• IGMP	• QOS	• CIFS	• SOCKS	• HTTP	• UDP/IP
• IPv4	• RTCP	• SMTP	• SSH	• HTTPS	• DDNS
	• RTP	• SNMP 1	• SSL	• ICMP	• UPnP
	• RTSP				
- Las normativas y estándares de las cámaras son:

• AS/NZS CISPR 32 Class A	• IEC 60068-2-1	• IEC 62236-4
• EAC	• IEC 60068-2-2	• IEC 62262 IK08
• EN 61000-6-2	• IEC 60068-2-27	• IEC/EN 60529
• EN 61373	• IEC 60068-2-64	• IEC/EN/UL 62368-1
• EN 62262 IK08	• ECE-R10 Rev.5	• IEEE 802.3af
• EN55024	• IEC 60068-2-78	• IEEE 802.3at
• FCC Part 15 B Class A	• IEC 60721-3-5 Class 5M3	• IP66
• ICES-003 Class A	• IEC 61373	• EN 45545

El Adjudicatario deberá entregar a FMB:

- 9 meses antes del inicio de las pruebas tipo del tren:
 - La documentación básica del equipo (datasheet, esquema eléctrico básico necesario y funcionalidades básicas).
- 10 meses antes del inicio de las pruebas tipo del tren:
 - Documentación completa.

2.14.11 Video difusión

Como se ha dicho en apartados anteriores, la CPU multipropósito deberá llevar implementado el software base del sistema de video vídeo difusión que facilitará FMB.

La función del sistema de video difusión (también llamado SIU) será la de:

- Difundir las informaciones al pasaje que tengan relación con el trayecto y servicio: próxima estación, termómetro de línea, estaciones donde pare el tren, correspondencias, estación actual, direccionales, mensajes de alteraciones o de servicio, y posibles mensajes visuales de emergencia, etc. Estos mensajes y otros podrán estar sincronizados con la megafonía.
- Difundir vídeos, imágenes o mensajes de entretenimiento corporativos, de publicidad, institucionales, de información en general o los que FMB considere.

El sistema estará conectado a otros sistemas para el intercambio de información, tanto a nivel embarcados (gestor de energía, información de localización y servicio del tren, etc.) como centrales (gestor de contenidos MouTV, gestor de alteraciones de Metro, servicios de la API/broker de TMB, TMB icons, STA, etc).

El sistema y sus componentes (p.ej.: TFTs) deben comunicarse entre sí a través de la REM. Además, el sistema reportará a la red TCN su estado y alarmas para que puedan integrarse en el sistema de monitorización del tren si fuera necesario. También estará conectada a la red TCN con el objetivo de obtener información necesaria para poder llevar a cabo todas las funciones del sistema (p.ej.: emisión síncrona con megafonía de los mensajes del conductor, información de contexto de localización, etc.). Durante fase de proyecto se indicará que elemento embarcado deberá realizar esta función de Gateway de comunicaciones para la integración con el TCN, ya que el sistema de video difusión intercambia la información siguiendo el modelo de datos de FMB indicado apartados anteriores.

Será responsabilidad del Adjudicatario realizar de manera coordinada con FMB las pruebas estáticas y dinámicas del sistema (incluyendo preparación de documentación y realización de dichas pruebas con la aprobación y supervisión de FMB, etc.). Recae sobre el proveedor las acciones de integración y validación finales que garanticen el correcto funcionamiento del sistema, incluyendo la información que este necesite para realizar sus funciones.

2.14.11.1 Software de video difusión

FMB facilitará al Adjudicatario el software base a integrar del sistema central de video difusión en la CPU multipropósito. Dicho software se entregará tras la firma del acuerdo de confidencialidad. Es un desarrollo de un tercer proveedor (que dispone de derechos de exclusividad) y que incluye funcionalidades básicas acordadas por FMB. El Adjudicatario deberá firmar los contratos de confidencialidad que FMB considere oportunos respecto del software de video difusión central y del software de pantallas que les suministrará FMB.

El proveedor del sistema de video difusión dará soporte en remoto al Adjudicatario para realizar aquellas modificación o ampliación de funcionalidades que sean necesarias en el software para cumplir con los requerimientos del presente pliego y su integración con el resto de los elementos del tren o los entornos centrales. Asimismo, se podrán realizar, entre el sistema de video vigilancia y de video difusión, un máximo total de 10 sesiones presenciales en las dependencias del Adjudicatario, destinadas a dar soporte a ambos sistemas.

Cualquier cambio técnico, actualización, ampliación o variación de configuración del equipo y/o software, deberán ser acordadas y aprobadas previamente por FMB.

Los requerimientos técnicos que cumplirá, como mínimo, el sistema de video difusión son:

- El motorista puede activar mensajes pregrabados en el tren mediante la introducción del código del mensaje o' pulsación de botón dedicado (p.ej. desplácese por los vagones, despejen la puerta...) y que estos se emitan por las pantallas.
- Actualización de software y firmware de los equipos de forma remota.
- Integración del sistema de video difusión con el sistema de comunicaciones del que dispone la línea.
- Integración con sistemas propios del tren y megafonía para la emisión de mensajes pregrabados de manera sincronizada, el envío de audios de video difusión al sistema de megafonía, adaptar el contenido según el contexto del tren y su ubicación actual y destino, etc.

- El sistema de video difusión tiene que poder gestionar los gráficos de línea de siguiente parada, de forma coordinada con el anuncio de próxima estación.
- El sistema de video difusión debe poder reportar su estado y alarmas a un sistema global embarcado de monitorización de alarmas.

El Adjudicatario será el responsable del resto del alcance, como, por ejemplo:

- Diseño general de la solución de video difusión, integración, implantación y validación en el tren cumpliendo con los requerimientos y necesidades del presente pliego y softwares entregados por FMB.
- Suministro, integración, configuración, validación y puesta en marcha de todos los elementos que formen parte del sistema de video difusión (Pantallas, cableado, CPU multipropósito, etc.).
- Integraciones necesarias del software aportado por FMB con los elementos suministrados.
- Integraciones con otros sistemas y elementos del tren para garantizar el 100% de las funcionalidades del sistema (p.ej.: publicación/intercambio de información necesaria, gestión energética, comunicaciones, etc.).
- Documentación asociada a los puntos anteriores.

Adicionalmente, el Adjudicatario deberá realizar todas las tareas de adaptación, integración y validación necesarias para que la centralita de video difusión, las pantallas y el resto de los elementos del tren puedan realizar todas las funcionalidades que se describen en el presente pliego. Algunas de estas tareas de integración se indican en el siguiente listado no exhaustivo:

- Proporcionar la información necesaria, tanto del resto de equipos del tren al sistema difusión como viceversa, tal como se define en el apartado modelo de datos FMB. Debe permitir como mínimo implementar todas las funcionalidades, plantillas y contenidos descritos en el anexo "Manual Funcional Pantalles Videodifusio nous trens 2025 v1.pdf". En dicho documento, se definen las funcionalidades a grandes rasgos que debe cumplir el sistema de pantallas y video difusión. Esta información es orientativa, pues durante la fase de ingeniería del proyecto se acabará de definir.
- Realizar las adaptaciones necesarias sobre las pantallas, incluido su SO, para que estas puedan cumplir con todas las funcionalidades requeridas del presente pliego, a nivel de visualización, gestión de contenidos, monitorización, reporte de actividad, gestión por

grupo de pantallas (individualmente, lado vía vs andén y/o pares e impares, todas las pantallas, etc.), etc. y la integración del SW que proporcionará FMB al Adjudicatario.

- Integración entre el sistema de video difusión y el sistema de megafonía para la emisión de manera sincronismo de mensajes al pasaje, etc.
- Reporte del estado y alarmas del sistema de video difusión al sistema global embarcado de monitorización de alarmas y a un panel de control en la cabina del motorista tal como se define en el apartado modelo de datos FMB.
- La arquitectura implantada en tren (a nivel físico y de redes, etc.) debe permitir al sistema de video difusión emitir mensajes de audio por el sistema de megafonía. Estos audios podrán ser ficheros o en stream (p.ej.: ficheros locales del sistema, desde un sintonizador de voz embarcado o central, etc.).
- La arquitectura implantada en tren (a nivel físico y de redes, etc.) debe permitir emitir por las pantallas de información del tren las imágenes de las cámaras locales del tren en tiempo real. Aunque actualmente no implemente dicha funcionalidad, la arquitectura base sí debe permitirlo.

FMB entregará la siguiente documentación al Adjudicatario:

- A partir de los 8 meses (32 semanas) de la firma del contrato:
 - Documentación básica del software de video difusión al pasaje
- A partir de los 23 meses (92 semanas) de la firma del contrato:
 - Documentación completa inicial (p.ej.: funcionalidades completas, proceso de instalación y checklist de validación del equipo sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario)
 - Entrega del software inicial a instalar en la CPU multipropósito. Se podrán realizar entregas posteriores de dicho software con evoluciones del mismo.
- Este software y por tanto su documentación irá evolucionando durante el proyecto por lo que queda bajo la responsabilidad del adjudicatario todas las tareas asociadas a su ingeniería, validación y puesta en marcha ya indicados en este pliego.

La parte documental que corresponda a las integraciones y validaciones que ha de realizar el Adjudicatario quedarán bajo su responsabilidad, aunque deberán ser aprobadas por TMB. El Adjudicatario tendrá que adaptar sus tareas y planificación acorde a los tiempos marcados

anteriormente sin que este hecho suponga una merma o afectación en su planificación, hitos de entrega y fabricación.

2.14.11.2 Pantallas video información

Se dispondrán de pantallas IP con CPU integrada encima de todas las puertas del interior de los coches, para proporcionar la información complementaria al pasaje.

El Adjudicatario será responsable de la adquisición, configuración, implantación y validación de dichos equipos en el tren. Los trabajos anteriores deberán ser pactados con FMB y ser compatibles con los trabajos de software del sistema de video difusión central y del de las pantallas de éste. Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de proporcionar las TFT de video difusión con todos los componentes necesarios (rack, cableado, equipos complementarios...) para la configuración e instalación de las TFT de video difusión, del cableado entre los distintos elementos, como del cableado al switch, de la alimentación de todos los equipos, su integración en la cabina de conducción, etc.

En las pantallas se deberá instalar un software que entregará FMB al Adjudicatario. El Adjudicatario deberá dar el soporte necesario al diseño, desarrollo, integración y pruebas para que el software /aplicación que irá instalada en las pantallas, dispongan de todos los requerimientos del sistema. Este soporte deberá ser el correcto en tiempo y forma durante la fase de ingeniería del software de video difusión y software de pantallas, permitiendo realizar las entregas de documentación/software al Adjudicatario. Las pantallas quedarán bajo la responsabilidad del Adjudicatario también en conceptos como fiabilidad, disponibilidad, mantenimiento y garantía.

Los requisitos mínimos que deben cumplir las TFT de video difusión son:

- Se instalará 1 pantalla TFT tipo LCD con retroiluminación Led y con panel de gama industrial, no de gama consumer, encima de todas las puertas. Quedarán integradas dentro del revestimiento interior del tren y todas ellas tendrán protección antivandálica. Las pantallas deberán quedar enrasadas con la capota superior de la puerta sin sobresalir del hueco de instalación.
- La distribución, forma, tamaño, color, brillo y ángulo de las pantallas permitirán una lectura cómoda desde cualquier situación de luz ambiental y posición en la sala de pasaje. Dichas especificaciones técnicas y características se definirán en la fase de ingeniería del proyecto y deberán ser aprobadas por FMB.
- Todos sus componentes deben ser de grado industrial y tener una disponibilidad de 24x7.

- Área activa mínima 92 cm de ancho por 13,9 cm de alto ± 1 cm, aunque si el espacio sobre puertas y sus mecanismos lo permiten esté deberá ser superior intentando llegar a 130cm de ancho por 20-30 cm de alto o lo más similar posible. Máxima resolución, así como resoluciones estándar.
- La pantalla deberá integrar un procesador ARM con las siguientes características mínimas: NXP IMX95 en configuración 6/4 cores, 8GB RAM, 128 GB RAM, 2x 10/100/1000BASE-T, S.O Linux con encapsulado industrial.
- Debe conectarse a la red Ethernet embarcada mediante conector M12. También se permitirá la replicar del flujo de datos mediante Daisy Chain. En caso de usar el mecanismo Daisy Chain, el peor de los escenarios en caso de fallo de uno de sus elementos debe comportar como máximo la pérdida de comunicación con los monitores de un solo lado del tren y coche.
- Mínimo Full HD en el formato máximo que la pantalla permita.
- Brillo (Nits) mínimo 700 cd/m².
- Ratio de contraste mínimo 2000:1.
- Ángulo de visión, La pantalla debe tener un gran ángulo de visión ≥ 170 (H), 170(V).
- Profundidad de color mínimo 16M de colores.
- Dispondrán de un tratamiento antirreflejos que garantice el contraste en entorno de luz ambiente requerido.
- MTBF mínimo 100.000 horas.
- Backlight mínimo 50.000 horas a máximo brillo.
- La pantalla debe soportar cortes abruptos en la alimentación sin que ello suponga un problema para el dispositivo y debe arrancar al ser energizado.
- Protección IP 54 frontal pantalla.
- La pantalla incorporará un navegador web que permita mostrar contenido web HTML5 contra el player que se encuentra en la CPU/centralita de video difusión, el cual le proporcionará la información a emitir.

- Web standard: HTML5 XHTML CSS2 CSS3 Javascript XMLHttpRequest XML SVG WebSockets Progressive web app React.
- Streaming video , RTP/AVP RTSP SAP SDP.
- Formato video, MPEG4 H.264 H.265 MP4 AVI GIF En perfiles actuales y compatibles con el gestor de video central de TMB (Sistema MouTV).
- Otros protocolos, XML-RCP HTTPS SFTP.
- Debe permitir broadcast, multicast y unicast. En la Red ethernet embarcada podrán convivir de manera simultánea diferentes streams y el monitor deberá poder seleccionar/gestionar el que le aplique según filtros a definir en caso de ser necesario.
- Se debe poder configurar por DHCP, por IP y poder modificar los parámetros (Hostname, IP, Mask, Gateway, DNS, Web Port, etc.).
- Debe ser capaz de sincronizar la fecha y hora mediante NTP. Toda la información horaria mostrada al viajero en formato numérico se presentará en sistema horario de 24 horas.
- Las pantallas deben aceptar administración vía SNMP para poder realizar la monitorización de su estado y alarmas.
- El LCD deberá estar en un envoltorio para proteger toda la electrónica y evitar entrada de polvo.
- Las pantallas quedarán protegidas por una solución antiabrasión que protegerá la pantalla de impactos. Entre la pantalla y el protector ha de estar construido para evitar las condensaciones. Dureza mínima de 5H y antiabrasión. En caso de rotura de la parte frontal (solución plástica, doble cristal templado, etc.) no pueden caer trozos del frontal a cabina de pasaje.
- La protección de la parte visual de la pantalla tiene que proporcionar una visión clara y nítida, y no degradarse fácilmente (ralladuras, limpieza, ...) ni oscurecerse y/o amarillear con el tiempo. Deberá tener tratamiento anti-amarilleo y anti-oscurecimiento. No amarilleará ni oscurecerá más de un 2% en 10 años. También debe ser resistente a la limpieza, manipulación y al desgaste. Debe permitir la limpieza con productos químicos y disolventes para eliminar pinturas y grafitis. Esta protección se puede conseguir mediante un tratamiento químico de la solución plástica, o bien, mediante una lámina protectora que otorgue estas cualidades. En cualquiera de los casos el conjunto debe cumplir todas las características solicitadas del presente pliego. Esta protección debe

ser fácilmente sustituible en campo, sin que requiera un desmontaje completo del conjunto final de su soporte.

- La puesta en marcha de la pantalla debe ser rápida, como máximo debe tardar 90 seg en encenderse. Adicionalmente en este proceso se deberá poder mostrar una imagen a definir por FMB, escondiendo el proceso de arranque de la pantalla de cara al cliente.
- Las pantallas deberán ser Plug&Play, con detección autodiscovery. Debe poder ser totalmente configurables, realizarse actualizaciones, reiniciar, realizar restart, encendido/apagado, etc. de forma desasistida tanto de forma local como remotamente. Además, se deberá poder forzar y liberar energéticamente para casos de actualización, mantenimiento, etc.
- Normativa y estándares que deben cumplir: Marcado CE EN50155 EMC: EN55022 IEC 62368-1 EN61373 (Vibraciones) EN50121-3-2 (compatibilidad electromagnética) EN45545-2 (Fire protection) IP54 frontal IP40 parte trasera (incluye carcasa/envolvente de protección de la pantalla) Environmental testing EN 60068-2-1 EN 60068-2-2 EN 60068-2-30.
- Deberán permitir realizar su actualización de manera remota y desasistida. Debe poder configurar la calidad de la imagen remotamente (resolución, brillo, contraste, rotación, ancho...). La pantalla debe disponer de un sensor de auto brillo configurable que adapte automáticamente los parámetros de brillo y dimmer según las condiciones lumínicas del tren.
- Las pantallas dispondrán de un sensor de luz ambiente que regule la luminosidad de las pantallas, adaptándose a las necesidades de visualización del entorno.

El proveedor debe entregar todas las herramientas, código fuente, documentación, etc. necesario para realizar la gestión de los equipos y del sistema.

Con el objetivo que el desarrollador del sistema de video difusión pueda realizar los trabajos de integración, el Adjudicatario deberá entregar la documentación asociada de las pantallas (fabricante y modelo, datasheet, protocolo de comunicaciones, pruebas, integración, etc.) 9 meses antes del inicio de las pruebas tipo del tren.

2.14.11.3 Software pantallas video información al pasaje

FMB entregará el software base a integrar en las TFT de video difusión desarrollado por un tercer proveedor (que dispone de derechos de exclusividad) y que incluye funcionalidades básicas acordadas por FMB. Previo a esta entrega de software, el Adjudicatario tendrá que firmar los

acuerdos de confidencialidad que FMB considere oportunos. Cualquier cambio técnico, actualización, ampliación o variación de configuración del equipo y/o software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por FMB.

A nivel general, las principales funcionalidades que dispondrán estas pantallas del sistema de video difusión y para los que el Adjudicatario deberá dar soporte y realizar las integraciones necesarias son (lista no exhaustiva):

- Debe permitir como mínimo implementar todas las funcionalidades, plantillas y contenidos descritos en el documento anexo Manual Funcional Pantalles Videodifusio nous trens 2025 v1.pdf. En dicho documento, se definen las funcionalidades a grandes rasgos que debe cumplir el sistema de pantallas y video difusión. Esta información es orientativa, pues durante la fase de ingeniería del proyecto se acabará de definir.
- Se tendrá que mostrar o modificar las plantillas a visualizar según variables que proviene de otros equipos del tren (de la Red ethernet embarcada y/o de la red troncal TCN) o sistemas centrales. Algunos ejemplos (lista no exhaustiva) sería: distancia recorrida entre estaciones, próxima estación, momento de difusión, alteraciones, etc.
- Existirán diferentes plantillas a mostrar en las pantallas según el momento de emisión, geolocalización, activación de avisos, etc. Cada monitor mostrará una plantilla u otros, teniendo que ir actualizando de manera online el contenido/metadatos de dicha plantilla o el cambio de plantilla.
- La selección de plantilla puede ser única para una pantalla, por grupos de pantallas o para todas las pantallas del tren. El contenido de las pantallas podrá ser diferente por lado de coche, diferenciar entre pares e impares, por secciones como pantallas próximas a zonas PMR, etc.
- La plantilla a mostrar en la pantalla debe permitir mostrar simultáneamente contenido web (imágenes, textos, textos en scroll y otros) y contenido de vídeo, pudiendo ésta realizar divisiones para mostrar cualquier contenido en cualquier lugar de la pantalla.
- Los contenidos que se muestren en las pantallas se deben poder gestionar en tiempo real con el objetivo de poder incluir modificaciones o incidencias en una determinada estación o tramo de línea, además de poder variar estos en función de la situación del tren en cada momento, de forma que sea posible adaptar la emisión de videos al recorrido.

La entrega de documentación básica del software que entregará FMB a instalar en las pantallas, se realizará a partir de los 12 meses tras la firma del contrato y la entrega del software (versión

inicial para la Mínima Versión de Producto) a partir de los 23 meses tras la firma del contrato. Se podrán realizar entregas posteriores de dicho software con evoluciones del mismo. La documentación completa (p.ej.: funcionalidades completas, proceso de instalación y checklist de validación del equipo sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario, etc.) se realizará a partir de los 23 meses tras la firma del contrato. La parte documental que corresponda a las integraciones y validaciones que ha de realizar el Adjudicatario quedarán bajo su responsabilidad, aunque deberán ser aprobadas por FMB. El Adjudicatario tendrá que adaptar sus tareas y planificación acorde a los tiempos marcados anteriormente sin que este hecho suponga una merma o afectación en su planificación, hitos de entrega y fabricación. No obstante, el adjudicatario deberá estar disponible para las tareas necesarias de ingeniería, integración y validación previos a dichas entregas y que marque FMB durante el proyecto.

2.14.12 Señalización número de servicio e indicador de lado apertura de puertas

En cada testera libre del tren se dispondrá de una pantalla IP para indicar el número de servicio, de una altura aproximada de 15 cm, y fácilmente visible desde el andén.

El número de servicio se señalará, también, interiormente (una por coche) con el fin de que en caso de incidencia se pueda localizar fácilmente. Dicho número de servicio deberá poder ser programado desde el centro de control a través del canal de comunicación que se defina en fase de proyecto y tendrá comunicación con el sistema embarcado del tren.



Modelo de propuesta señalización interior número del tren

Asimismo, a extremo y lado de cada coche se dispondrá de un indicador luminoso Led, tipo flecha como los actualmente instalados en los trenes de FMB, que indique el lado de apertura de puertas. Dicha información será suministrada por el sistema ATP/ATO.

2.14.13 Contador de personas

Los trenes irán provistos de un contador de personas por coche de tren.

El sistema deberá permitir saber cuántas personas hay en cada coche en cualquier momento distinguiendo entre aquellas personas que están de pie y sentadas.

El sistema tendrá protección antivandálica y estará integrado en el revestimiento interior de caja.

La precisión del sistema deberá ser superior al 97%, incluso en situaciones de máxima ocupación del coche, debiéndose demostrar este dato en fase de proyecto. La disponibilidad del sistema global por tren deberá ser superior al 99%. Se tendrá que entregar un informe que demuestre que el sistema de cuenta pasaje cumple con la condición de precisión superior al 97%. Los análisis y pruebas que contenga dicho informe deberá realizarse en condiciones similares a las que se tendrán en el metro (espacio y distribución de los elementos, altura y configuración de los sensores, etc.).

El sistema deberá cumplir con todas las normas ferroviarias y certificaciones, marcados y ensayos que le apliquen.

En paralelo existirá un sistema para la medición a través del peso del tren. Este contador de personas debe estar en comunicación con el sistema mencionado para detectar posibles averías en el sistema, para ello el sistema informático deberá hacer una comparación entre las dos mediciones y en caso de una discrepancia suficiente se mostrar una alarma (IOS). La funcionalidad definitiva entre ambos sistemas deberá definirse en fase de proyecto y ser validado por FMB.

Se publicará tal como se define en el apartado modelo de datos FMB. A continuación, se indica una lista de variables mínimas y no exhaustiva que deberá proporcionarse en esta interface:

- Información contextual que permita identificar el tren, servicio, su ubicación (línea, trayecto, última para, próxima parada, etc.), etc.
- Información de estado, monitorización y diagnóstico (incluyendo alarmas) de los elementos del sistema cuenta pasaje, así como su inventario (modelos, versionado SW/configuración y número de serie si aplica).
- Información de subidas y bajadas por puerta. Se indicará las subidas y bajadas de la última parada, las acumuladas en la jornada, las acumuladas del servicio actual si es posible, etc. Para aquellos patrones que se puedan identificar (sillas, carritos, etc.) también se tendrá que entregar la información de subidas y bajadas siguiendo la clasificación anterior.

- Ocupación actual del tren en su conjunto y por coche de: total de personas, personas de pie, personas sentadas y posibles patrones que se puedan identificar (sillas, carritos, etc.).
- Ocupación actual del tren en su conjunto y por coche proveniente del sistema de medición a través del peso.

No obstante, los topic y su contenido (estructura, variables y tiempo de refresco) se acabarán de definir en la fase de ingeniería del proyecto y será necesaria la aprobación de FMB.

El sistema también deberá enviar la información de manera online, en función de ciertos eventos relevantes y por frecuencia, a los sistemas centrales de FMB (API/broker de TMB). Durante fase de ingeniería se acabará de definir el mecanismo y destino concreto de envío de dicha información siguiendo los estándares y políticas internas de integración de FMB, así como qué variables.

También se deberá estar provisto de un software que permita monitorear desde el CCM la información en tiempo real, proporcionando información como:

- Número de personas transportados por coche.
 - Personas que suben y bajan por estación y coche.
 - Alarmas.
 -

La información será suministrada de manera abierta, permitiendo ello que sea integrada la información en los sistemas corporativos de FMB.

El sistema de cuenta pasaje deberá tener un sistema de gestión de logs embarcado y centralizado que:

- Registre en ficheros la actividad del sistema (ocupación, subidas y bajadas, etc.) incluyendo información contextual (fecha/hora, tren, servicio, ubicación, etc.) que permita evaluar de manera fácil la situación del tren/coche de manera histórica. En estos registros se deberá incluir también las variables indicadas a publicar vía MQTT.
- Se crearán diferentes logs según su temática/objetivo. P.ej.: versionado e inventario, monitorización y alarmas/errores, funcionamiento (ocupación, subidas y bajadas...), keepAlive, etc. Se generará un nuevo fichero para cada día natural.

- Se deberá realizar una correcta gestión de los ficheros: almacenamiento de los ficheros de los últimos X días (inicialmente 7 días), borrado de ficheros antiguos, compresión de los ficheros en un paquete único actualizable bajo ciertas circunstancias (a ciertas horas del día, al detectar conectividad WiFi, bajo demanda, tras un reinicio del equipo...), etc.
- Compartición de los ficheros (a través del paquete único) con otros sistemas de FMB. Deberá permitir su recogida por parte de otros sistemas y su envío a sistemas centrales.
- Envío de logs y eventos/alarmas al API/broker de TMB

Las especificaciones técnicas y características de detalle se definirán en la fase del proyecto y deberán ser aprobadas por FMB.

El sistema deberá monitorizar todos sus elementos (centralitas, periféricos, etc.), siendo capaz de conocer de manera embarcada y centralizada el estado de dichos elementos, detectar posibles averías/malfuncionamientos, tener un registro de sus alarmas, control del inventario y versionado, etc.

El sistema debe poder reportar su estado y alarmas a un sistema global embarcado de monitorización de alarmas. También debe reportar su estado y alarmas a un panel de control en la cabina del motorista.

Los elementos del sistema (centralita, sensores...) deberán poder ser configurables y actualizables de manera remota y desasistida.

La detección y conexión del Cuenta Pasaje y sus periféricos deberá ser plug&play, y se podrá conectar y desconectar repetidas veces de manera incontrolada sin que esto suponga un problema.

2.14.14 Localización de personas embarcadas

Se dispondrá del siguiente sistema de localización de personas embarcadas.

2.14.14.1 Beacons Bluetooth

La ubicación y el número de Beacons situados en el interior de los coches será el suficiente para que cubra la totalidad del tren, incluidos los pasillos de intercomunicación instalando como mínimo 3 Beacons por tren: uno en cada testera y el tercero en el coche central o "Remolque". Se debe aportar un estudio de cobertura para analizar el número de Beacons a instalar, incluso en el peor escenario (máxima ocupación de viajeros).

La sujeción de los Beacons deberá estar compuesta por una escuadra metálica que irá fijada sobre los perfiles del chasis del rack o bien, de la estructura del tren mediante uno de los siguientes procedimientos:

- Tornillos aprovechando los agujeros existentes en los perfiles del rack.
- Rosca chapa si se trata de un perfil metálico sin agujeros.

La sujeción final deberá ser consensuada y aprobada por FMB.

El Adjudicatario será el encargado de suministrar, instalar, configurar e integrar con el firmware que proporcionará FMB ya que actualmente se tiene una aplicación de localización propia. Los detalles técnicos de los beacons son los siguientes:

- Modelo de Beacon: iBKS Plus (referencia 2025)
- Batería:
 - 4 pilas de litio AA de 3,6V y 2600mAh (configuración 1s4p).
 - Capacidad total de 3,6V y 10.400mAh.
 - Pilas de primeras marcas e idénticas entre sí.
- Vida útil mínima del beacon: 7 años.
- Firmware (FW): Versión de FW de FMB: V1.2020.06.23.1 (o la versión más actualizada disponible que se comunicará durante el proyecto).

A continuación, se indican otros requisitos que ha de cumplir el adjudicatario:

- Configuración y Alta en Sistemas Corporativos
 - Configuración de los beacons Bluetooth según los parámetros definidos por FMB.
 - Alta de los beacons en los sistemas corporativos de FMB: SAP y BOW.
- Requerimientos Adicionales:
 - Garantizar la correcta integración de los beacons con los sistemas de localización interior existentes de FMB.
- Proporcionar documentación detallada de la instalación y configuración de los beacons.

- Ofrecer formación al personal de FMB sobre el funcionamiento y mantenimiento del sistema de localización interior con beacons
 - El proveedor deberá garantizar la disponibilidad de repuestos y soporte técnico durante la vida útil del sistema.

A continuación, se detallan los comentarios adicionales que deben tenerse en cuenta para la correcta ejecución en la instalación de beacons embarcados:

- **Instalación y Configuración:** La instalación y configuración de los beacons Bluetooth debe realizarse en las instalaciones del fabricante del tren o en la propia cochera de Metro, antes de la entrega de los trenes a FMB.
- **Alta Sistemas Corporativos:** Las altas de los beacons en los diferentes sistemas corporativos de FMB (SAP y BOW) se podrán realizar en horario de oficina.
- **Ubicación de los Beacons:** La ubicación exacta de cada beacon dentro del tren debe ser pactada y acordada con FMB en fase de proyecto
- **Tareas Técnicas de Backoffice:** Para la realización de las tareas técnicas de backoffice, se recomienda solicitar una oferta al mantenedor del sistema con el que FMB trabaje en el momento de la licitación.
- **Inventario y Validación:** Los beacons instalados a bordo del tren deberán ser inventariados, fotografiados y validados por FMB.
- **El mantenimiento del Firmware de los beacons** (necesidades de evolución del mismo para corrección de errores o nuevas funcionalidades) queda bajo la responsabilidad de FMB.

Durante fase de ingeniería de proyecto se acabará de definir el mecanismo de inventario/alta de los diferentes beacons en los sistemas centrales de TMB.

El Adjudicatario deberá incluir en su Checklist de pruebas el OK de la infraestructura de Beacons que certifique que está listo para ser utilizado en la red de FMB.

2.15 MODOS DE CONDUCCIÓN

El sistema ATC instalado en los trenes del Metro de Barcelona integra los subsistemas ATP (Protección Automática del Tren) y ATO (Operación Automática del Tren). Su objetivo es garantizar una circulación segura, eficiente y automatizada del tren, manteniendo las condiciones de seguridad definidas por los enclavamientos y proporcionando automatización en la conducción.

Todo el diseño, instalación, adaptación y pruebas de la implementación de estos equipos en el tren irán a cargo del Adjudicatario incluyendo soportería, cableado y pruebas de validación. Así mismo, el Adjudicatario también deberá:

- Suministrar los cables de interconexión de las unidades ATP/ATO y de conexión con el resto del tren. (Interfaces y cables de alimentación).
- Realizar las pruebas de instalación de interfaces ATP/ATO – Tren previas a las pruebas serie.
- Fabricar e instalar los soportes y protecciones de las Antenas. Cumpliendo con las especificaciones de instalación de los equipos.
- Todos los cofres y armarios necesarios para la protección de las unidades ATP-ATO.

El Adjudicatario deberá incluir en su planificación de proyecto todo el proceso de ingeniería de integración, implantación, pruebas en fábrica y pruebas de la instalación y validación con la infraestructura de FMB.

FMB facilitará al Adjudicatario únicamente los equipos de ATP-ATO a instalar en los trenes. El Adjudicatario será responsable del diseño de implantación de dichos equipos en el tren, así como de asegurar que se cumplan las funcionalidades previstas de los equipos en los trenes.

El Adjudicatario será el responsable de las pruebas en fábrica del equipo ATP-ATO, así como del diseño del interface de dichos equipos con el tren, incluyendo en todos los elementos necesarios para que el sistema tenga las funcionalidades previstas de los equipos en los trenes.

El Adjudicatario será responsable de todas las pruebas de integración y validación del sistema y deberá asegurar la integración final del sistema en el tren.

El sistema ATP-ATO proporciona al equipo anunciador de estaciones la información de la siguiente estación de la línea a la que se dirige el tren, para indicar el lado de apertura de puertas. Dicha funcionalidad deberá mantenerse y por tanto el tren se diseñará para gestionar el

anunciador de estaciones con dicha información y en paralelo la que también se suministra por el Tren Stop.

Los datos de ATP-ATO deberán ser accesibles desde el bus de datos del tren y tendrán la información necesaria para que se pueda reproducir en tiempo real en la pantalla de conducción ATP-ATO.

No se instalarán cajas de conexión en elementos solidarios al bogie para evitar deterioro por vibraciones.

Todos los elementos constituyentes de este sistema deberán cumplir con la norma “EN 61373 Material rodante, Ensayo de choques y vibraciones”.

A continuación, se detallan de forma general las características del sistema ATP/ATO instalado en cada una de las líneas. Esta descripción tiene carácter enunciativo y no exhaustivo. Durante la fase de proyecto se desarrollará, de forma coordinada entre FMB, el Adjudicatario y los proveedores del sistema, la definición final del diseño de implantación, la ingeniería asociada y la operativa del sistema, con el fin de garantizar su correcta funcionalidad, interoperabilidad y validación.

2.15.1 ATP-ATO L2

2.15.1.1 Descripción general

El sistema ATP/ATO de los trenes presentes en L2 de FMB se basa en la arquitectura TBS100FB (Train-Based System), diseñada bajo normativa CENELEC y con capacidades para migrar a tecnologías DTG o CBTC. Está compuesto por dos funcionalidades principales:

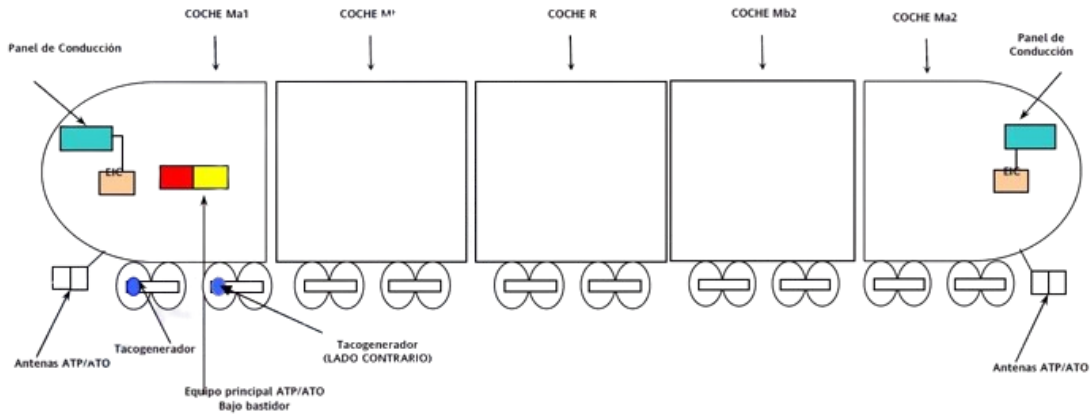
- ATP (Automatic Train Protection): Garantiza la seguridad del tren.
- ATO (Automatic Train Operation): Automatiza la conducción bajo supervisión del ATP.

Ambas funcionalidades interactúan con los siguientes componentes:

- Sistema de vía: Balizas, circuitos codificados (modulación FM en L2), señales, cambios, enclavamientos.
- Sistema de a bordo: Paneles de conducción, tacogeneradores, antenas, bastidor TBS, equipo de interface (EIC), entre otros.

2.15.1.2 Componentes Principales del Sistema

Los componentes principales del sistema se detallan a continuación:



- Equipo TBS (bajo bastidor): Contiene la lógica de control ATP/ATO. Procesa señales del circuito de vía y del tren para generar órdenes de tracción, frenado y protección.
- Antenas de ATP/ATO: Captan códigos en los raíles (ATP) y balizas de localización (ATO). Cada tren lleva cuatro antenas ATP y cuatro ATO.
- Tacogeneradores: Miden la velocidad real del tren. Cada tren dispone de dos tacogeneradores instalados.
- Panel de Conducción: Incluye pulsadores de modo, indicadores luminosos, avisadores acústicos y velocímetro de doble aguja.
- Panel de Auxilio: Contiene el conmutador RESET y la LLAVE ESPECIAL para condenar el ATP/ATO.
- EIC (Equipo Interface Conductor): Interfaz entre conductor y sistema TBS. Gestiona alarmas, indicadores y comandos de control.
- Pilotos Azules Laterales: Indican condena del sistema ATP/ATO por uso de la llave especial.

2.15.1.3 Funcionamiento del Sistema

A continuación, se detallan las funcionalidades del sistema a modo enunciativo, pero no exhaustivo:

- ATP – Protección Automática del Tren: Supervisa velocidad y condiciones de seguridad. Sus funciones clave son:
 - Aplicar freno de emergencia al rebasar velocidad máxima o al desaparecer los códigos.
 - Impedir choques y excesos de velocidad.
 - Controlar apertura de puertas.
- ATO – Operación Automática del Tren: Automatiza la conducción mientras ATP garantiza la seguridad:
 - Arranque y parada automáticos.
 - Regulación de velocidad.
 - Parada en estaciones con precisión ± 1 m.
 - Alineación con puertas de andén.
 - Gestión de vuelta automática.

ATO depende de balizas para posicionamiento. Si no se recibe baliza tras 400 m, aplica emergencia.

2.15.1.4 Modos de Conducción

A continuación, se describe las diferentes formas en que el tren puede ser operado, dependiendo del nivel de automatización y protección activa.

Estos modos definen qué sistema tiene el control principal del tren (conductor o sistema automático), cómo se regulan la tracción y el frenado, y qué limitaciones de seguridad se aplican.

Por ejemplo:

- En modo ATO, el tren circula de forma completamente automática, regulando tracción y frenado, pero siempre supervisado por el ATP. Requiere balizas y códigos.
- En modo ATP, el conductor conduce manualmente, pero con una supervisión continua de la velocidad y condiciones de seguridad. Conducción bajo velocidad objetivo.
- En modo Manual +25, el control es totalmente manual y la velocidad se limita a 25 km/h para maniobras. Para maniobras o zonas sin códigos.

- En modo Llave Especial, el sistema ATP/ATO está desactivado, siendo un modo excepcional para movimientos sin protección automática. Conducción sin protección automática

2.15.1.5 Filosofía de Seguridad (Fail Safe)

El sistema ATP/ATO está diseñado bajo el principio de seguridad por defecto (Fail Safe). Ante cualquier fallo (pérdida de códigos, errores de cálculo, etc.), se aplica automáticamente el freno de emergencia, eliminando el modo activo y obligando a detener completamente el tren antes de reanudar la operación.

2.15.1.6 ATP/ATO en L2 con modo Distancia Objetivo (DTG)

El sistema DTG se activa automáticamente antes de la entrada en la estación y permite una explotación segura hasta las toperas.

Esta funcionalidad, ya activa en la Línea 2, sustituye la lógica tradicional basada en códigos de velocidad discretos por un control continuo y dinámico de la distancia restante hasta el final de vía.

Esto permite detener el tren con mayor precisión y suavidad, garantizando la seguridad incluso en el último tramo del recorrido. Todo ello bajo la supervisión continua del sistema ATP.

2.15.2 ATP-ATO L4

Los trenes de L4 irán provistos del sistema CBTC embarcado TGMG de SIEMENS, los trenes objeto de suministro deberán diseñarse y construirse en cumplimiento estricto de lo establecido en el Proyecto Constructivo de Renovación de la Señalización ATP-ATO de la L4 de FMB (clave PC-MIB-19036), el cual define los requisitos funcionales, operacionales e interfaces necesarios para garantizar la integración con el sistema de señalización en desarrollo.

Las prestaciones dinámicas y funcionales de los nuevos trenes (frenado, aceleración, tiempos de reacción y comportamiento cinemático general) deberán ser iguales o superiores a las definidas en este pliego.

2.15.2.1 Especificaciones Sistema CBTC On-Board

El equipamiento CBTC embarcado será de tecnología Train Guard Mass Transit – AlfésT ® de SIEMENS Germany para poder garantizar la circulación de los nuevos trenes con el Sistema de Señalización y Control de Tren en servicio en Línea 4 de Metro de Barcelona. Dicho equipamiento deberá ser idéntico al suministrado por el Proyecto Constructivo de Renovación de la Señalización ATP-ATO de la L4 de FMB.

Este diseño permitirá que el tren funcione con un grado de automatización GoA2. El equipo principal estará compuesto por 2 OBCUs, 2 OPGs, 2 radares, 2 antenas de balizas, 2 módulos de radio, 2 HMIs, 2 módulos de radio y 4 antenas de radio para las funciones vitales, adicionalmente se deben montar 4 antenas de radio adicionales, con sus equipos correspondientes para las funciones no vitales de la parte de comunicaciones. La configuración tendrá la forma que aparece en la Fig. 1, este esquema corresponde a una configuración central redundada.

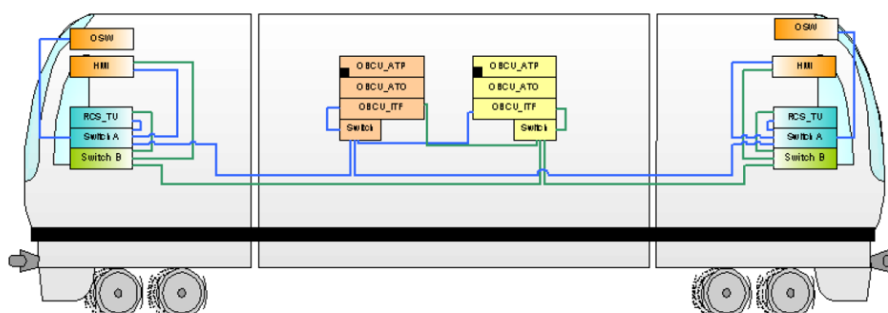


Fig. 1. Configuración del sistema.

La localización aproximada de los equipos principales se muestra en la Fig. 2.:

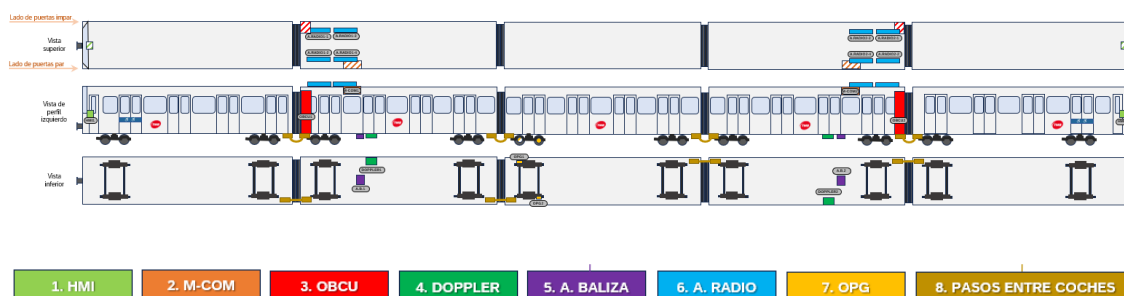


Fig. 2. Distribución de equipos.

HMI

El HMI es la pantalla de interfaz con el conductor. Su ubicación centrada en el pupitre.

Módulo de Radio

El módulo de radio es el responsable de la comunicación a bordo, este estará conectado a las dos antenas de radio de su zona, y se conectará a las dos redes de ethernet del sistema por medio de dos ethernet switch, uno por cada red.

OBCU

El OBCU es el ordenador de a bordo del sistema TGMT, en esta configuración se tendrán 2, uno que estará funcionando y otro en stand-by. El OBCU está formado por el módulo Distributor, el módulo ATP, el módulo ATO, y un ventilador para refrigerar el área

Antena de Radio

Las antenas de radio permitirán la comunicación entre trenes.

Doppler

El radar o Doppler se utiliza para obtener lecturas precisas de velocidad, estos deben apuntar a direcciones opuestas, se colocarán 2 radares y cada uno de ellos se conectará a ambos OBCUs. El haz del radar no debe tocar ni se debe superponer al haz de ningún otro sensor que pueda estar activado al mismo tiempo, es muy importante asegurarse de que no haya obstáculos ni objetos en movimiento dentro de los haces del radar.

OPG

El OPG se utiliza para medir de manera exacta la velocidad y la dirección del tren, se debe colocar en los ejes del bogie, si es posible en ejes remolque, y ejes diferentes para obtener así dos mediciones diferentes.

Antena de Balizas

La antena de balizas se encarga de leer las balizas colocadas a lo largo de la vía, estas le proporcionan al tren información y localización. La antena de balizas debe ir montada lo más cerca posible al OBCU, y al bogie del tren para garantizar la correcta lectura de las balizas incluso en las curvas.

El equipamiento CBTC embarcado dispondrá de redundancia de equipos Hot-Standby para garantizar que en ningún caso el fallo de un elemento del equipo de CBTC embarcado comporte la inmovilización de un tren en la L4.

El equipamiento CBTC embarcado realizará una autodiagnos continua de su estado. Además, el equipamiento CBTC embarcado permitirá su monitorización remota desde el ATS con fines de diagnosis y mantenimiento.

Las unidades centrales de proceso estarán diseñadas bajo principios "Fail-Safe" con el fin de garantizar que todas las funciones asignadas al sistema ATP-ATO-ATC se ejecuten sin que exista en ningún caso riesgo para la seguridad de las personas ni para el tren (tanto en estático como en circulación).

Equipamiento relativo (interfaces con otros sistemas).

1. La parte embarcada del sistema CBTC intercambiará informaciones con el sistema informático del tren sobre su estado, así como todas aquellas incidencias de funcionamiento que se presenten. Se deben considerar las interfaces necesarias tanto a nivel de hardware como de software para comunicar el equipamiento CBTC con el bus del sistema informático del tren, así como el desarrollo del protocolo de intercambio de informaciones necesarios para el intercambio de datos.
2. El equipo CBTC embarcado transmitirá la información de próxima estación al tren (información que habrá recibido del sistema CBTC de vía) al sistema informático del tren el cual procederá a gestionar:
 1. La iluminación de las flechas del interior de los coches que indicarán el lado de apertura de las puertas del tren en la próxima estación.
 2. El aviso acústico de la próxima estación.
 3. La señalización visual de la próxima estación en los paneles gráficos de línea, así como otras informaciones que pudieran presentarse al pasaje a través del sistema de videoinformación.
 4. Resto de información necesaria.

Toda la energía eléctrica necesaria para alimentar los equipos de CBTC será suministrada por el tren.

En caso de pérdida de HV del tren, el equipo CBTC permanecerá alimentado (aproximadamente 30 minutos) por la batería del tren, a confirmar entre TMB y el suministrador.

2.15.2.2 Especificaciones Sistema Comunicaciones

El equipamiento del Sistema Comunicaciones embarcado será idéntico al suministrado por el Proyecto Constructivo de Renovación de la Señalización ATP-ATO de la L4 de FMB con Clave PC-MIB-19036. Este equipamiento deberá incluir todo lo necesario para habilitar el sistema de comunicaciones Wireless (no-vital) que permita la interconexión con los sistemas de Megafonía, Interfonía y Video del tren: antena/es de comunicaciones Wi-Fi, cableados, alimentación de las antenas, equipos de radio, etc.

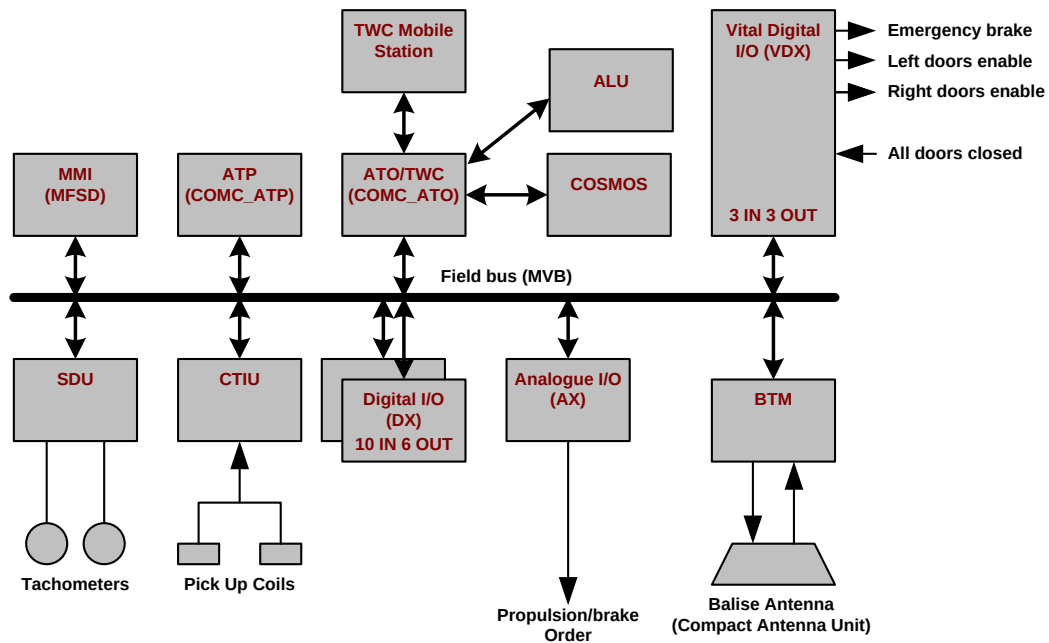
2.15.2.3 Especificaciones Espacios Reserva

El tren deberá disponer de espacios para poder ubicar un segundo equipo de señalización embarcado, en previsión futura de que se pueda incorporar el equipo DTG de SIEMENS que se utiliza actualmente en Línea 2.

2.15.3 ATP-ATO L1/L3

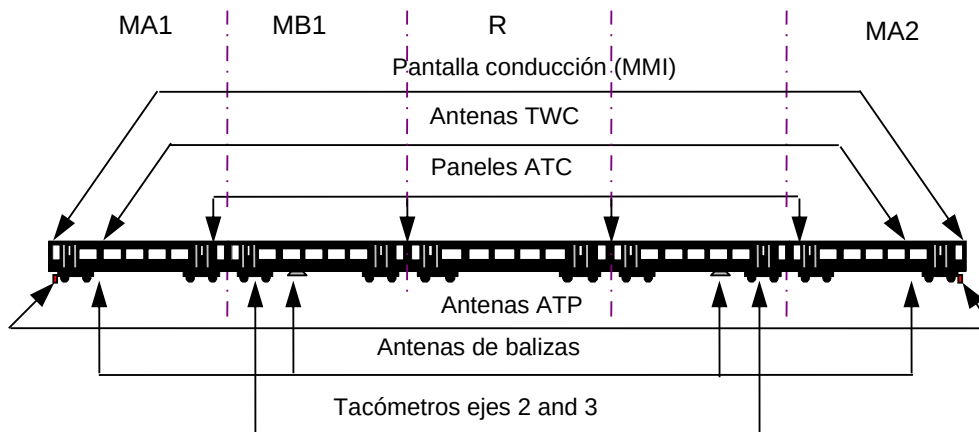
En las líneas 1 y 3 el sistema de señalización es el sistema ATP-ATO BOMBARDIER EBICAB 800 (GoA2).

L1 y L3 disponen de dos cabinas primarias, cada cabina es un sistema completo ATP/ATO. La arquitectura se presenta en la figura siguiente a modo de referencia:



Configuración HW de los trenes

La distribución de los equipos actuales se representa a modo de referencia en la siguiente figura:



Distribución de los equipos ATP/ATO en los trenes

A continuación, se describe la distribución actual del sistema a modo de referencia:

- En los coches motores MA se encuentran presentes los módulos CTIU, MMI, COMC_ATO, VDX, DX, la estación de radio móvil 2, las antenas TWC en el techo, un power splitter, 2 botones de salida de ATO, Junction Box, y llave especial.
- En los coches motores MB se encuentran los módulos DX, VDX, por un lado y SDU y BTM distribuidos en 2 paneles diferentes, además de 2 tacómetros por cada equipo ATP/ATO y las correspondientes cajas de conexión.
- En el coche remolque R se encuentran los dos módulos COMC_ATP, DX y AX correspondientes a los dos sistemas ATP/ATO.
- Las antenas ATP y tacogeneradores irán instalados en los bogies.
- Las antenas baliza ATO irán instaladas bajo bastidor.
- Las antenas de radio ATO irán instaladas en techo.

El sistema ATP-ATO realiza una supervisión continua de la velocidad del tren, impidiendo el rebase de límites de velocidad o señales cerradas. Recibe telegramas desde el circuito de vía que incluyen información sobre la velocidad máxima, velocidad objetivo, distancia, la pendiente del trayecto. Si el tren excede la velocidad supervisada, el sistema emite señales acústicas y visuales, y activa el freno de servicio o de emergencia, dependiendo del margen de exceso. También supervisa el lado correcto de apertura de puertas y proporciona información al sistema de anunciador de estaciones.

El ATO permite la automatización completa de la conducción del tren, regulando aceleración, frenado y paradas precisas en andén. Utiliza como fuentes de datos los telegramas ATP, balizas pasivas y una base de datos interna con la topología de la línea. El sistema dispone de diferentes estrategias de conducción (rápida, normal, etc.), limitando la intervención del conductor a la apertura y cierre de puertas y a los botones de salida.

Los modos de operación son:

- ATP (conducción manual supervisada).
- ATO (conducción automática supervisada).
- ATB (automático sin conductor para inversión de cabina).
- M+25 (maniobras en zonas no equipadas, con supervisión limitada a 23 km/h).

- Modo Especial (ATC desconectado, sólo muestra velocidad real).

El sistema está compuesto por varios elementos como tarjetas electrónicas, antenas de balizas, tacogenerador, radio, unidades de almacenamiento de eventos e interfaz de usuario.

A nivel de infraestructura, las balizas proporcionan referencia de parada precisa y localización del tren.

Las reacciones ante exceso de velocidad son:

- +3 km/h: aviso sonoro + corte de tracción,
- +6 km/h: freno de servicio,
- +9 km/h: freno de emergencia.

El CCM define itinerarios, regula tráfico y asigna permisos de movimiento, interactuando con enclavamientos y con el subsistema, el cual transmite información al tren sobre estación, vía, estrategia, permisos y también recibe datos sobre localización, modo y diagnóstico.

El entorno de interfaz de usuario informa con diferentes señales acústicas:

- señal acústica cada 2 segundos por exceso de velocidad.
- una señal acústica corta como primer aviso.
- señales acústicas cortas como segundo aviso.
- señal acústica continua por error.

Los botones de salida en modos ATO y ATB se iluminan cuando se cumplen las condiciones.

Las condiciones para el paso entre modos de conducción en el sistema ATP serán las siguientes:

- de M+25 a ATP, al recibir telegramas con el inversor en neutro o adelante.
- de ATP a ATO, con comunicación establecida, recepción de baliza, permiso ATO y freno no activo.
- de ATO a ATB, en estación terminal, tras parada completa, con autorización del enclavamiento y retirada de la llave.

Este sistema permite garantizar la operación segura y automatizada del tren en las líneas 1 y 3 de FMB, con una arquitectura robusta, múltiples redundancias y mecanismos de supervisión continua.

El nuevo tren deberá adaptarse para la funcionalidad ATB de la señalización.

2.15.4 Tren – Stop

Los trenes objeto de esta licitación tendrán instalados un sistema Tren-Stop de la empresa SepsaMedha compatible con las señales emitidas por las balizas SepsaMedha de las líneas a los que van destinados. Este sistema está concebido como una protección puntual universal para todas las líneas.

Para L2 el sistema actualmente proporciona información sobre el final de línea y para L4 se utiliza para maniobras con L2. De todas maneras, el sistema deberá proporcionar toda la información descrita en este apartado proporcionando información para el anuncio de estaciones, siguiente estación y lado de apertura de puertas.

Para L1 y L3 el sistema actualmente proporciona al equipo anunciador de estaciones la información de la siguiente estación de la línea a la que se dirige el tren, para indicar el lado de apertura de puertas. Dicha funcionalidad deberá mantenerse y por tanto el tren se diseñará para gestionar el anunciador de estaciones con dicha información y en paralelo la que también se suministra por el ATP.

Para todas las líneas objeto de esta licitación, el equipo deberá proporcionar, entre otras posibles, las siguientes funciones:

- Protección antirrebase de semáforo rojo.
- Protección frente a exceso de velocidad del tren, en los puntos donde se encuentren balizas de vía limitadoras de velocidad.
- Proporcionar al equipo anunciador de estaciones la información de la siguiente estación de la línea a la que se dirige el tren, para indicar el lado de apertura de puertas.
- Actuar sobre la maniobra de selección de lado de apertura de puertas de pasaje, impidiendo la selección y por tanto la apertura de puertas en las estaciones por el lado donde no exista andén.
- Detectar la pérdida de captación de balizas.

- Actuar en el lazo de freno cuando no detecte una baliza de semáforo entre balizas de estaciones.
- Actuar en el lazo de freno cuando exceda la distancia a la que debía de encontrar la baliza de reseteo y carga de distancia (estación).
- Control bidireccional de vías de acceso a talleres y apartaderos (puntos singulares).
- Inhibirse cuando el equipo ATC está activo.

El rebase de semáforo rojo de entrada a taller se podrá realizar si lo autoriza la baliza de punto singular situada antes de la baliza asociada al semáforo. En caso contrario, el tren se frenará al captar la baliza de semáforo rojo. La salida del tren hacia la línea estará controlada por la baliza de semáforo, sin influencia de la baliza de punto singular.

Cuando el equipo Tren-Stop se deslocalice, se impedirá la selección y por tanto la apertura de puertas en ambos lados, informando al personal de conducción de esta situación a través del sistema de monitorización. En estas condiciones, para poder ordenar la apertura de puertas, se deberá accionar previamente un dispositivo de seguridad de reconocimiento de que el equipo Tren-Stop se encuentra deslocalizado. El accionamiento de este dispositivo estará registrado en el equipo caja negra.

El equipo de Tren-Stop podrá integrarse con los sistemas de megafonía y anunciador de estaciones del tren.

El equipo Tren-Stop deberá poder detectar un mal funcionamiento de sus elementos (antenas, tacos, etc.) en cualquier momento, informando en el puesto de conducción (pantalla de monitorización a través del sistema informático del tren). Las variables asociadas a estos estados estarán disponibles en la red informática del tren.

Si fuese necesario ajustar diámetro de ruedas en los ejes donde estén ubicados los captadores de velocidad se deberá poder introducir el valor numérico desde la desde el puesto de conducción por pantalla de monitorización y del propio equipo Tren-Stop.

Este valor estará acotado entre los máximos y mínimos admisibles por la rueda, no permitiendo introducir valores fuera de estas cotas.

Cada puesto de conducción dispondrá de un interruptor luminoso “bypass” de anulación de Tren-Stop de color rojo. Este pulsador estará debidamente precintado, siendo del mismo modelo que el resto de los pulsadores de bypass utilizados en el tren.

Dispondrá de un pulsador de rearme de tal manera que se pueda efectuar dicho rearme de una manera rápida, segura e intuitiva desde el puesto de conducción.

Cuando se active el pulsador “Anulación de Tren-Stop” en el puesto de conducción con mando de tren, quedará anulada la intervención del sistema de Tren-Stop en el lazo de emergencia. Dicha anulación será mostrada al personal de conducción en la pantalla de monitorización a través del sistema informático del tren.

Cuando la actuación del Tren-Stop frene el tren (por apertura del lazo de emergencia) será posible rearmar el equipo accionando el pulsador de rearme Tren-Stop, desde el puesto de conducción con mando, desfrenando el tren si ha desaparecido la causa que la provocó.

El equipo de Tren-Stop estará conectado al bus del sistema informático del tren para informar del estado del equipo, así como de los eventos de funcionamiento al personal de mantenimiento, mediante las herramientas software suministradas por el Adjudicatario.

Dispondrá de entradas “hardware” para que equipos externos puedan efectuar el rearme, inhibición, anulación y todas aquellas funciones que sean necesarias como interface para el Tren-Stop.

El equipo caja negra del tren registrará como mínimo las siguientes señales del equipo Tren-Stop:

- Anulación del Tren-Stop.
- Activación del dispositivo de reconocimiento de Tren-Stop deslocalizado.
- Demanda apertura de lazo por Tren-Stop (una señal por cada causa).
- Rearme del Tren-Stop.
- Tren-Stop autorización de rebase de semáforo rojo.
- Tren-Stop semáforo rojo.
- Tren-Stop semáforo verde.
- Tren-Stop velocidad.
- Baliza inhibidora.
- Punto singular.

- Señal WSP.
- Otras señales que posteriormente FMB considere convenientes en la fase de proyecto.

El Tren-Stop dispondrá de una memoria interna no volátil de registro de eventos de funcionamiento del equipo. Los eventos memorizados y datados estarán acompañados del contexto de señales necesario para su correcta interpretación.

Se proporcionará un software que trabajará en entorno Windows para facilitar el volcado del registro de fallos a un Ordenador Portátil, así como la interpretación y presentación de los datos. Dicho software deberá ser sometido a la aprobación de FMB.

El equipo dispondrá de conexión segura según la política de Ciberseguridad de FMB para la extracción de dichos registros a 1Mb/s como mínimo. También se deberá poder efectuar la extracción de datos desde el puesto de conducción por medio del sistema informático de tren.

Cuando estos trenes circulen por Líneas con balizas de Tren-Stop en vía, estará activo uno de los dos sistemas de seguridad para la protección de circulación del tren: Tren-Stop (puntual) o ATP (continuo). Para ello se diseñará el equipo Tren-Stop, de modo que cuando el ATP se encuentre operativo se inhiban las protecciones de rebase disco rojo, exceso de velocidad en puntos limitados por baliza de velocidad, y cualquier otra situación que pueda provocar la apertura de lazo por el equipo Tren-Stop. Será así atendiendo al criterio de que en este caso es el equipo de ATP el que protege al tren en su desplazamiento. El resto de las funciones del equipo Tren-Stop deberán permanecer activas. Cuando el ATP no esté operativo (en modos M+25 o Selector modo especial), de forma automática se activarán todas las funciones del Tren-Stop que protegen el desplazamiento del tren. A tal efecto, el Adjudicatario implementará en el tren una comunicación failsafe entre el equipo de ATP y el equipo de Tren-Stop, que garantice la conmutación automática de ambos sistemas según lo especificado anteriormente.

Así mismo el Adjudicatario será responsable de implementar entre otras funciones las siguientes:

- El sistema Tren-Stop deberá permitir el rearme automático del lazo de emergencia cuando el tren conmuta a “Modo Especial” (bypass ATC) o a “Modo M+25”, procedente de un modo de conducción ATO o ATP.
- El sistema Tren-Stop deberá realizar el rearme automático al conectar la llave de gobierno en cabina, tanto si el tren está en ATP como en M+25, para permitir la transición a cualquiera de los modos de conducción ATP, ATO o M+25 al realizar un cambio de cabina.

- Deberán implementarse señales que informe al sistema informático del tren de si el sistema Tren-Stop se encuentra inhibido o anulado. Dicha información estará disponible para visualización en el sistema de monitorización del tren.
- En modos de conducción M+25 o Modo Especial, cuando el tren rebasa un semáforo en rojo, el sistema deberá actuar sobre el lazo de freno y visualizar en la pantalla de monitorización la causa como “lazo abierto por semáforo”.
- Al realizar la secuencia de arranque del tren, el sistema Tren-Stop deberá configurarse por defecto en estado de lazo abierto, permitiendo el inicio de marcha en modo de conducción libre.
- Tras recuperar la localización del sistema (por ejemplo, tras una pérdida de captación o secuencia incompleta), el Tren-Stop deberá limitar automáticamente la velocidad máxima del tren a 25 km/h hasta que se restablezca la operación normal.

En todos los trenes se instalará un sistema Tren-Stop de SepsaMedha compatible con las señales emitidas por las balizas SepsaMedha de las líneas a los que van destinados.

FMB facilitará al Adjudicatario los 35 equipos hardware de Tren Stop a instalar en los trenes. El Adjudicatario será responsable de la integración del equipo en el tren.

El Adjudicatario será el responsable de las pruebas en fábrica del equipo, así como del diseño de la interface de dichos equipos con el tren, incluyendo en todos los elementos necesarios para que el sistema tenga al menos las mismas funcionalidades que en los actuales trenes que circulan por las líneas 1, 2, 3 y 4.

El Adjudicatario será responsable de todas las pruebas de integración y validación del sistema y de la integración final del sistema en el tren.

Todo el diseño, instalación, adaptación y pruebas de la implementación de este equipo en el tren irán a cargo del Adjudicatario incluyendo soportería, cableado y pruebas de validación. Así mismo, el Adjudicatario también deberá:

- Suministrar los cables de interconexión de las unidades Tren Stop y de conexión con el resto del tren. (Interfaces y cables de alimentación).
- Realizar las pruebas de instalación de interfaces Tren Stop – Tren previas a las pruebas serie.
- Fabricar e instalar los soportes y protecciones de las Antenas. Cumpliendo con las

especificaciones de instalación de los equipos.

Todos los cofres y armarios necesarios para la protección del equipo

2.15.5 Llave Especial

Se actuará sobre un selector protegido con una tapa para pasar a conducción en modo especial. El modo de conducción en modo especial deberá poder activarse y cumplir con las especificaciones de este pliego técnico independientemente del estado de la red informática del tren.

La conducción en modo especial estará limitada en velocidad e incorporará un bypass para mantenimiento. La funcionalidad definida para la limitación de velocidad cuando se active el modo de conducción de Modo Especial es:

- Mientras la velocidad se mantenga por debajo de 25 km/h, la velocidad será controlada directamente por el personal de conducción mediante la solicitud de tracción realizada mediante el manipulador del tren.
- En el momento en que se supere la velocidad de 30 km/h; el tren aplicará frenado de emergencia.
- El tren volverá al estado inicial al situarse la velocidad en un valor por debajo de 25 km/h. Es decir, se recuperará el control de la tracción.

Esta funcionalidad deberá implementarse incluso en ausencia del sistema informático del tren (modo socorro) y no podrá depender del sistema informático del tren. Dicha funcionalidad será validada por FMB durante la fase de proyecto, y sujeta a ensayo funcional en las pruebas dinámicas.

En ningún caso el tren podrá circular en modo especial sin la limitación de velocidad activa, ni podrá depender exclusivamente del software o lógica del sistema informático del tren para gestionar dicha limitación.

2.15.6 Hombre muerto

El tren dispondrá de una función de Hombre Muerto destinada a garantizar la presencia y la atención del personal de conducción en el puesto de conducción habilitado.

La función de Hombre Muerto estará asociada a la cabina activa y no deberá actuar desde la cabina no habilitada. La actuación de la cabina no activa sobre el lazo de freno de emergencia deberá quedar inhibida mediante la lógica de cabina activa correspondiente.

La detección de presencia se realizará mediante un sensor táctil/capacitivo integrado en el manipulador de tracción/freno, capaz de detectar si el personal de conducción mantiene agarrada la empuñadura del manipulador. La pérdida de detección válida o la falta de actividad, según el modo de conducción, provocará la actuación del Hombre Muerto y la aplicación del freno de emergencia mediante apertura del lazo de seguridad correspondiente.

La configuración de la función de Hombre Muerto dependerá del modo de conducción seleccionado, de acuerdo con la siguiente tabla:

Modo de conducción	Configuración de la función de Hombre Muerto
Llave Especial / ATC anulado	Doble efecto
M+25	Doble efecto
ATP	Simple efecto
ATO	No disponible / anulado por modo de conducción
ATB	No disponible / anulado por modo de conducción

A efectos de este apartado, se entenderá por simple efecto la supervisión de presencia del personal de conducción sobre el manipulador de tracción/freno, y por doble efecto la supervisión combinada de presencia y actividad, de forma que el sistema detecte tanto la ausencia de actuación como la presencia mantenida sin variación.

➤ Actuación con tren parado

Con el tren parado, la función de Hombre Muerto permanecerá activa con la misma funcionalidad que con tren en movimiento definida en este apartado, exceptuando lo siguiente:

- Aviso acústico: no se activará con velocidad cero.

- Temporización: Si durante un (1) segundos no se detecta presencia en el sensor capacitivo del manipulador de tracción/freno o se superan los 30 segundos mantenidos, se aplicará directamente el freno de emergencia por Hombre Muerto y se señalizará mediante aviso luminoso.

Para recuperar el lazo de freno tras una actuación de Hombre Muerto con el tren parado, será necesario pasar el manipulador de tracción/freno por la posición “0” a exceptuando en ATP que únicamente será necesaria actuar sobre el sensor de Hombre muerto del manipulador.

➤ Modo de conducción manual con ATP

En modo de conducción manual con ATP, el sistema de Hombre Muerto realizará una supervisión de simple efecto.

En este modo se requerirá la detección permanente de la mano del personal de conducción en la empuñadura del manipulador de tracción/freno. Solo se permitirá soltar el manipulador durante un tiempo máximo de cuatro (4) segundos antes de aplicar el freno de emergencia.

La secuencia de actuación será la siguiente:

- a) Al dejar de detectarse presencia en el manipulador, se iniciará la temporización corta.
- b) Transcurridos dos (2) segundos sin detección de presencia, se activará un aviso luminoso y un aviso acústico.
- c) Si transcurren otros dos (2) segundos en el mismo estado, es decir, un total de cuatro (4) segundos sin detección de presencia, se aplicará el freno de emergencia por Hombre Muerto.
- d) Si antes de finalizar los cuatro (4) segundos se vuelve a detectar presencia, la temporización corta se rearmará y no se aplicará el freno de emergencia.

Para recuperar el lazo de freno tras una actuación de Hombre Muerto en modo ATP, únicamente será necesaria actuar sobre el sensor de Hombre muerto del manipulador sin necesidad de pasar el manipulador por cero.

➤ Modo de conducción manual M+25

En modo de conducción manual M+25, el sistema de Hombre Muerto realizará una supervisión de doble efecto.

El doble efecto deberá garantizar tanto la presencia como la actividad del personal de conducción. Para ello, el sistema dispondrá de una temporización corta asociada a la pérdida de presencia y de una temporización larga asociada a la presencia mantenida sin variación.

La temporización corta actuará de la siguiente forma:

- a) Mientras se detecte presencia en el manipulador, el sistema mantendrá rearmada la temporización corta.
- b) Al dejar de detectarse presencia, se iniciará una temporización de cuatro (4) segundos.
- c) Transcurridos dos (2) segundos sin detección de presencia, se activará un aviso luminoso y un aviso acústico.
- d) Si transcurren otros dos (2) segundos en el mismo estado, es decir, un total de cuatro (4) segundos sin detección de presencia, se aplicará el freno de emergencia por Hombre Muerto.
- e) Si antes de finalizar los cuatro (4) segundos se vuelve a detectar presencia, la temporización corta se rearmará y no se aplicará el freno de emergencia.

La temporización larga actuará de la siguiente forma:

- a) Cuando se detecte presencia continuada en el manipulador de tracción/freno, se iniciará una temporización de treinta y dos (32) segundos.
- b) Transcurridos treinta (30) segundos de detección continuada de presencia, se activará un aviso sonoro de dos (2) segundos de duración y un indicador luminoso.
- c) Si el personal de conducción no reacciona soltando el manipulador durante los dos (2) segundos posteriores, se aplicará el freno de emergencia por Hombre Muerto.
- d) Si antes de finalizar los treinta y dos (32) segundos el sensor deja de detectar presencia, la temporización larga se rearmará y no se aplicará el freno de emergencia por esta causa, sin perjuicio de la temporización corta asociada a la pérdida de presencia.

Para recuperar el lazo de freno tras una actuación de Hombre Muerto en modo M+25, será necesario pasar el manipulador de tracción/freno por la posición "0".

➤ Modo Llave Especial / ATC anulado

Cuando el sistema ATC se encuentre anulado, en estado de bypass o Modo Llave Especial, la supervisión del sistema de Hombre Muerto será de doble efecto.

En este modo aplicará íntegramente la funcionalidad definida para el modo de conducción manual M+25, incluyendo la temporización corta, la temporización larga, los avisos acústicos y luminosos, la aplicación del freno de emergencia y la recuperación mediante paso del manipulador de tracción/freno por la posición "0".

➤ Modos ATO y ATB

En modo de conducción automática ATO, la función de Hombre Muerto no estará disponible y no deberá actuar sobre el lazo de freno de emergencia. El diseño deberá mantener excitado el relé o función equivalente de freno de emergencia por Hombre Muerto mientras el ATC se encuentre en este modo de conducción.

En modo de cambio de sentido automático ATB, la función de Hombre Muerto tampoco estará disponible y aplicará el mismo criterio definido para el modo ATO.

➤ Anulación del sistema de Hombre Muerto

En caso de necesidad, por ejemplo por avería, se podrá efectuar la anulación local del sistema de Hombre Muerto mediante un pulsador específico de "Anulación Hombre Muerto" situado en el puesto de conducción.

Dicho pulsador deberá ser mantenido, luminoso, de color rojo y estar precintado. La anulación deberá actuar directamente sobre la función de Hombre Muerto en el lazo de emergencia, de forma que quede anulada su actuación sobre dicho lazo mientras permanezca enclavado el pulsador.

El pulsador deberá permanecer iluminado mientras la anulación esté activa.

El sistema informático deberá monitorizar el estado de anulación del sistema de Hombre Muerto, señalizarlo en la pantalla de conducción, registrarlo en ambos registradores de eventos y enviarlo al CCM mediante la variable o interfaz definida en fase de proyecto.

La actuación, anulación y estados relevantes de la función de Hombre Muerto deberán quedar registrados en los registradores de eventos del tren y estar disponibles para su análisis por FMB.

La señal de falta de actividad del personal de conducción o de actuación del Hombre Muerto deberá estar disponible para otros sistemas del tren y para el CCM, de acuerdo con la arquitectura de comunicaciones definida en fase de proyecto.

El Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto una descripción funcional detallada de la función de Hombre Muerto, incluyendo arquitectura, esquemas, interfaces, temporizaciones, secuencias de actuación, secuencias de recuperación del lazo de freno, criterios de anulación, señalización al personal de conducción, monitorización, registro de eventos, modos degradados y pruebas de verificación.

El funcionamiento final, las temporizaciones, las señales monitorizadas, la lógica de anulación, la señalización, el registro de eventos y las interfaces con el CCM deberán ser definidos y validados por FMB en fase de proyecto.

La función de Hombre Muerto deberá ser objeto de análisis de fiabilidad y seguridad ferroviaria, cuyos resultados deberán incorporarse a la documentación de seguridad del proyecto. Asimismo, deberá verificarse mediante pruebas funcionales en fábrica, pruebas dinámicas y pruebas en vía FMB, de acuerdo con el plan de ensayos aprobado.

2.16 SISTEMA DE TELEMONTORITZACIÓN Y TELEMANDO DE TREN

2.16.1 Introducción

FMB ha integrado en sus procesos de operación y mantenimiento el uso de la información en tiempo real de los subsistemas del tren, obtenida a partir de la totalidad de las variables disponibles en el bus de comunicaciones del tren.

El procesamiento y análisis de estas variables permite implementar estrategias avanzadas de mantenimiento basado en condición y mantenimiento predictivo, tanto para el tren como para sus subsistemas y equipos. Asimismo, facilita una respuesta operativa y técnica más ágil ante incidencias.

Además, esta información se utiliza para determinar la ocupación de los trenes en cada punto de la línea y para el cálculo de parámetros operativos clave, como los tiempos de intervalo entre estaciones, los tiempos de parada en el andén (dwell time) y otros indicadores que permiten una planificación de servicio ajustada a la demanda. También se utiliza para monitorizar los modos degradados y optimizar la seguridad ferroviaria.

Los datos del tren deberán quedar registrados y almacenados en los sistemas informáticos embarcados del tren, con capacidad de consulta y explotación por FMB, integrados con las plataformas de monitorización y sujetos a las medidas de protección y ciberseguridad definidas en el presente pliego.

Por todo ello, es imprescindible que el diseño y la implementación del sistema de telemonitorización y telemando en el proyecto de construcción de los nuevos trenes garanticen una alta fiabilidad, seguridad y resolución en los aspectos descritos en este capítulo.

La telemonitorización del tren se realizará de manera simultánea mediante dos sistemas:

1. **Plataforma de monitorización nativa del fabricante**, que proporcionará acceso a los datos de los subsistemas del tren según su arquitectura y plataforma de monitorización y tratamiento de la información de diagnóstico del estado del tren y sus subsistemas propia del licitador, al que se dará acceso a FMB preferiblemente con cliente web.
2. **Plataforma de monitorización de activos de FMB (Davana), Digital Train**, mediante la integración en el tren de los equipos "**Digital Train**", descritos en este documento.

El licitador deberá proporcionar un listado completo de todas las variables que circulan por el bus de comunicaciones del tren, indicando para cada una de ellas:

- **Mnemónico.**
- **Tipo de variable** y tamaño/dimensión (hexadecimal, booleana, matriz, etc.).
- **Descripción breve**, indicando su significado.
- **Subsistema del tren** al que pertenece.
- **Descripción ampliada.**
- **Valores que puede adoptar** y significado de cada valor.
- **Significado de cada bit**, en caso de variables tipo matriz (*array*).

Este requisito garantizará la correcta integración y explotación de la información para la gestión operativa y el mantenimiento del material móvil.

Es un requisito que se publiquen en la red del bus del tren todas las variables, como mínimo, de los equipos siguientes:

- Tracción.
- Unidad de control del freno.
- Unidad de control de los convertidores de tracción.

- Unidad de control de los convertidores auxiliares.
- Unidad de control de las puertas de acceso.
- Unidad de control del aire acondicionado de la sala.
- Unidad de control del aire acondicionado de la cabina.
- Registrador de eventos.
- Unidad de control del sistema ATP/ATO.
- Unidad de control de la radio.
- Unidad de control de los sistemas de información y vídeo-información al viajero.
- Unidad de control del sistema de videovigilancia.
- Unidad de control del sistema de detección de incendios.
- Unidad de control acceso a cabina y operación tren.
- Panel de conducción (pupitre, etc.).

Se incluirá la funcionalidad que permita a los equipos embarcados de señalización ATP y ATO publicar información relevante en la red de comunicaciones embarcada del tren, con el objetivo de facilitar el análisis de fallos e incidencias asociadas a estos sistemas. El sistema utilizado deberá ser suficientemente flexible para permitir la integración futura de nuevas variables o señales que estos equipos puedan generar y publicar en la red del bus de tren.

A continuación, se detalla la información del tren que se debe enviar. El envío de esta información se realizará a través de un canal de comunicaciones bidireccional tren-tierra, utilizando tecnologías como Radio DMR, comunicaciones WAN (LTE/5G) a través de las CPUs multipropósito y Wi-Fi, y/o otras comunicaciones con direccionamiento privado que se determine en fase de proyecto:

- **Información general del tren y su estado operacional:**
 - La totalidad de las variables disponibles en el bus de comunicaciones del tren en tiempo real, incluyendo el diagnóstico del estado del tren y sus subsistemas.
 - Información sobre posibles incidencias durante la puesta en marcha y desconexión remota, así como el estado final del tren (Fuera de servicio, Modo

degradado con reducción de prestaciones, Incidencia que no afecta al servicio o Correcto).

- Número de serie y versión de software instalada de todas las tarjetas y equipos instalados en los trenes, incluidos aquellos de aportación FMB.
- Pérdida o fallo de cualquier sistema en tiempo real.
- Estado de los térmicos del tren.
- Estado de las alarmas del tren.
- Información sobre la ejecución de órdenes telemandadas y, si no fue posible la reconexión, un mensaje informando de este hecho
- Envío de históricos de apertura de puertas acceso a cabina de conducción.

- **Sistemas de Control y Protección:**

- Ocupación de los espacios reservado (para sillas de ruedas).
- Variables de peso y contador de personas.
- Mensaje de la batería cuando su carga cae por debajo de un umbral que requiera recarga.
- Datos de tensión, corriente y temperatura de la batería.
- Estado del magnetotérmico de protección de la batería.
- Resultados de autodiagnósticos de fallos, averías y eventos de los convertidores.
- Histórico de incidencias y fallos del convertidor.
- Parámetros de funcionamiento del convertidor para mantenimiento preventivo y correctivo.
- Información de fallo automático (elemento y causa) por apertura del lazo de tracción en conducción automática.
- Identificación de la seta de emergencia activada.
- Información sobre la activación de pulsadores/interruptores de anulación.

- Anomalías en el funcionamiento del equipo de registro (Caja Negra) en modo automático sin personal de conducción.
- Volcado remoto de datos registrados en la Caja Negra.
- Estado del disyuntor.
- Estados y confirmación de las puertas (reposo/avería, puerta abierta/cerrada).
- Información sobre la anulación del sistema de control de acceso.
- Mensaje automático al activarse el dispositivo de desbloqueo de emergencia de la puerta de cabina.
- Resultado de la orden de rearme remoto del magnetotérmico y diferencial del compresor, y si no fue posible la reconexión.
- Estado de las protecciones (térmica y sobrecargas) de cada motor compresor.
- Parámetros relevantes del compresor para supervisar su funcionamiento.
- Detección de puerta abierta tras condena mecánica.
- Resultados de autodiagnósticos de anomalías del equipo de freno (incluyendo pérdida de redundancia).
- Volcado remoto de histórico de incidencias o fallos del equipo de control del freno neumático.
- Resultados de autodiagnósticos de anomalías del equipo antibloqueo.
- Volcado remoto de histórico de incidencias o fallos del equipo antibloqueo.
- Estado de conexión o desconexión del freno de estacionamiento de todos los ejes del tren.
- Situación de anulación del freno de estacionamiento de uno o más ejes.
- Fallo del freno de estacionamiento.
- Estado del sistema de freno.
- Información sobre la aplicación del sistema automático de prevención de deslizamiento (WSP).

- Información sobre detección de patinaje en tracción.
- **Sistemas de Información y Comunicación**
 - Informaciones, datos y registros del sistema informático de los trenes.
 - Datos o registros que evalúan la calidad de las comunicaciones del sistema en tiempo real.
 - Información necesaria para sistemas de videodifusión, videovigilancia, nodo de comunicaciones, megafonía e interfonía, como: fecha/hora, accionamiento de elementos de emergencia con su contexto, pulsación de interfonos, puertas (estado, lado de abertura próxima parada, selección de lado, bloqueo), cabina habilitada, intrusión, accionamiento de tiradores, extintores.
 - Información para identificar y localizar el tren en cada momento: número de coche, número de servicio, número de personal de conducción, línea actual, última línea detectada, vía, circuito de vía, vía de la próxima estación destino con parada, código de línea e itinerario, código de estación actual, código de próxima estación, código de próxima estación con parada, distancia recorrida en metros desde la última parada, distancia recorrida por el tren desde la puesta en marcha con resolución de metros, metros pendientes para la próxima parada, punto kilométrico, información de proximidad a la siguiente estación, parada actual, modo de conducción, odómetro, momento de emisión del tren para el sistema de video difusión, baliza, odometría (velocidad, acelerómetro).
 - Información de ayuda al personal de conducción y alarmas e información de mantenimiento de cada equipo: estado de elementos del puesto de conducción (llave de gobierno, manipulador), elementos de emergencia/seguridad del tren.
 - Condiciones ambientales por ubicación (temperatura, ventilación), peso y ocupación del tren y coches.
 - Variables de gestión energética: estado de batería, relacionadas con apagado/encendido del tren, estado energético de equipos y periféricos, relacionado con notificaciones y órdenes (apagados, reinicios, forzado/liberación energética, timeouts).
 - Estado y alarmas del sistema de Megafonía y su histórico.
 - Nivel sonoro medido en cada coche.

- Estado y alarmas del sistema de Interfonía y su histórico.
- Imágenes en directo de todas las cámaras de video vigilancia.
- Imágenes almacenadas (rebobinado y descarga).
- Video de la cámara asociada a un interfono activado.
- Imágenes del sistema de video vigilancia interior del tren.
- Audio grabado de los interfonos.
- Estado y alarmas del sistema de video vigilancia (estado de cada cámara, disco duro, etc.).
- Grabaciones de audio de interfonos ante activación de elementos de seguridad/comunicación.
- Estado y alarmas del sistema de videodifusión.
- Estado y alarmas de las pantallas de videoinformación (vía SNMP).
- Número de pasajeros transportados por coche, personas que suben y bajan por estación y coche, y alarmas del sistema de cuenta pasaje.
- Información contextual para el cuenta pasaje: identificador del tren, servicio, ubicación (línea, trayecto, última/próxima parada), etc.
- Información de estado, monitorización y diagnóstico (incluyendo alarmas) de los elementos del sistema cuenta pasaje, así como su inventario (modelos, versión SW/configuración y número de serie).
- Información de subidas y bajadas por puerta (última parada, acumuladas en jornada/servicio, y para patrones como sillas/carritos).
- Ocupación actual del tren en su conjunto y por coche: total de personas, personas de pie, personas sentadas y posibles patrones (sillas, carritos).
- Ocupación actual del tren en su conjunto y por coche proveniente del sistema de medición a través del peso.
- Datos para CBM (Mantenimiento Basado en Condición) y Digital Train:
 - Variables medidas por los sensores para telemonitorización.

- Sistema de monitorización del consumo energético en tiempo real.
- Enganches: Fuerza longitudinal.
- Caja de grasa: Vibraciones, temperatura.
- Suspensiones: Presiones.
- Batería: Tensión, corriente, temperatura, estado de carga.
- Cargador de baterías: Variables eléctricas.
- Convertidor estático: Variables eléctricas, variables de autodiagnóstico.
- Electrónica de tracción: Variables de autodiagnóstico.
- Electrónica de freno neumático: Variables de autodiagnóstico.
- Pantógrafo: Posición, corriente.
- Red TCN: Variables de estado.
- Sistema de señalización: Variables de autodiagnóstico.
- Estado de los equipos (puertas, climatización, compresores, frenos, tracción, suspensiones, pantógrafos, inversores, disyuntores, etc.) y las variables necesarias para predicción de averías.
- Versión de software/firmware.
- Estado de todos los lazos del tren y las variables que los conforman.
- Valores de temperatura interior y exterior de cada coche.
- Todas las variables del sistema informático para la monitorización de todo el tren, incluyendo aquellas que el tren utiliza para monitorizar su estado desde las pantallas de conducción.
- Información de los equipos embarcados de radio (cambios de portadora en recepción, niveles, falta de portadora, etc.).

Este listado no es exhaustivo ni excluyente. Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá proponer el listado de información y el canal de comunicación definitivo y tendrá que ser validado por FMB.

2.16.2 Sensorización a incorporar a los trenes

La totalidad de la flota objeto de esta licitación deberá estar equipada con un sistema de sensorización integral que abarque los subsistemas que se detallan más adelante en este apartado, con el fin de garantizar las funcionalidades descritas a continuación. Las variables medidas por estos sensores se publicarán en el bus de datos del tren, asegurando la accesibilidad a las mismas tanto desde el propio tren como desde los sistemas de telemonitorización especificados en este capítulo.

2.16.2.1 Requisitos Generales de la Sensorización

- **Integración:** Todos los sensores y sistemas de sensorización deben estar completamente integrados con el sistema de control del tren, publicando la información de sus variables en el bus de datos del tren, de forma que sean accesibles desde el propio tren como por los sistemas de telemonitorización del tren descritos en este capítulo.
- **Fiabilidad y Precisión:** Los sensores deben garantizar una alta fiabilidad y precisión en las medidas, con una tasa de error mínima.
- **Robustez:** Los sensores deben ser robustos y resistentes a las condiciones ambientales y mecánicas propias del entorno ferroviario.
- **Mantenimiento:** Se debe facilitar el mantenimiento y la sustitución de los sensores, con un diseño que permita un acceso sencillo y rápido.
- **Documentación:** El adjudicatario deberá proporcionar una documentación completa y detallada de los sensores y sistemas de sensorización, incluyendo las especificaciones técnicas, los esquemas de conexión y los protocolos de comunicación.

Los subsistemas de sensorización son los siguientes:

2.16.2.2 Sensorización para la monitorización del consumo energético

El Adjudicatario deberá implementar un sistema de monitorización del consumo energético en tiempo real, mediante una sensorización avanzada y precisa, que permita la obtención de los siguientes datos:

- **Desglose del consumo de energía de tracción:**
 - Energía de tracción consumida.
 - Energía de tracción regenerada.
 - Energía de tracción disipada (frenada resistiva).

- **Consumo de energía auxiliar:**
 - Consumo total de energía auxiliar.
 - Desglose del consumo por subsistemas: iluminación, climatización, sistemas de potencia auxiliar y otras cargas.
- **Integración con sistemas corporativos:**

El sistema de monitorización debe ser totalmente compatible y capaz de alimentar las aplicaciones corporativas de seguimiento y control del consumo energético de FMB, asegurando una integración fluida y sin interrupciones de los datos en los sistemas existentes.

2.16.2.3 Sensorización para la monitorización de los parámetros ambientales del interior de cada coche

El Adjudicatario deberá incorporar a cada uno de los coches un sistema de sensórica avanzado e integrado que permita la monitorización en tiempo real de los siguientes parámetros ambientales interiores, con las especificaciones de precisión y frecuencia de muestreo que se indican:

- **Calidad del aire:**
 - Dióxido de carbono (CO₂): Precisión de ± 50 ppm, frecuencia de muestreo de 1 Hz.
- **Confort acústico:**
 - Nivel de ruido (dBA): Precisión de ± 1 dBA, frecuencia de muestreo de 10 Hz.
- **Iluminación:**
 - Nivel de luz (lux): Precisión de ± 10 lux, frecuencia de muestreo de 1 Hz.

Consideraciones adicionales:

- **Integración y comunicación:** El sistema de sensórica debe estar completamente integrado con el sistema de control del tren y con el bus de datos del tren, permitiendo el acceso a los datos en tiempo real tanto desde el tren como desde los sistemas de telemonitorización.
- **Mantenimiento:** El sistema debe permitir la calibración periódica de los sensores y facilitar el mantenimiento y la sustitución de los mismos.
- **Registros de datos:** El sistema debe permitir el registro y el almacenamiento de los datos medidos, con la capacidad de generar y publicar en el bus del tren alarmas en caso de superar los umbrales predefinidos.

2.16.3 Plataforma de monitorización nativa del fabricante

La plataforma de monitorización nativa del fabricante deberá proporcionar información detallada sobre el estado de los subsistemas y equipos del tren. Asimismo, deberá incorporar herramientas específicas para:

- **Diagnóstico del estado del tren y sus subsistemas.**
- **Mantenimiento predictivo y basado en condición**, utilizando las metodologías propias del licitador.

El acceso a esta plataforma se facilitará a FMB, preferiblemente mediante un cliente web.

La plataforma deberá permitir la descarga de datos en formatos CSV (o similares) a petición.

El tren deberá incorporar los equipos necesarios para garantizar la interfaz, el procesamiento y las comunicaciones con el servidor de la plataforma nativa del fabricante. La infraestructura de comunicaciones disponible en la red de metro incluye:

- Telefonía móvil pública 4G (o superior) en la mayor parte de la red.
- Conexión WiFi en determinados puntos de los extremos de línea.

Por lo tanto, el sistema deberá incorporar los componentes necesarios para operar sobre estas dos redes de manera segura y eficiente.

Además, la solución propietaria del fabricante deberá disponer de una arquitectura de segmentación y protección cibernética que garantice la imposibilidad de acceso al bus de comunicaciones del tren y que cumpla los requisitos de la normativa de Ciberseguridad de FMB.

2.16.4 Plataforma de monitorización de activos de FMB (Davana), Digital Train

FMB integra en la Plataforma Davana la digitalización de la totalidad de sus activos, incluyendo trenes, infraestructura y sistemas de señalización, proporcionando una interfaz hombre-máquina (HMI) para el personal de operación y los diferentes departamentos de mantenimiento.

Para su operativa, Digital Train utiliza datos procedentes de:

- El bus de datos del tren, permitiendo el acceso a la información de todos los subsistemas en todos los trenes.

- Una red de sensores externos, dedicada a la monitorización de la infraestructura, implementada en los trenes auscultadores.

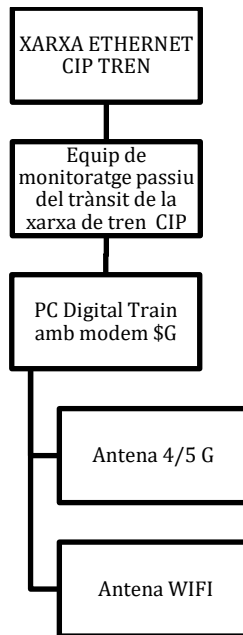
El sistema consta de unos equipos embarcados en tren por la captura de la información del tren el pre-procesado y el envío los datos a los servidores cloud para su tratamiento y el acceso de los usuarios.

El equipo Digital Train se conectará al equipo Communication Gateway en el que se definirá con su propia subred, permitiendo enrutar el tráfico entre Digital Train y las redes TCN y REM, respetando los requerimientos específicos de monitorización pasiva que apliquen. Para el caso concreto de los trenes auscultadores, el equipo Communication Gateway también habilitará el enrutado de tráfico entre Digital Train y los equipos de auscultación que integren la red dedicada para los mismos.

A su vez el equipo Digital Train dispondrá de un módulo propio de comunicaciones 4G/5G y Wifi que le permita transmitir la transmisión de datos en el caso de indisponibilidad o degradación de las funciones de enrutado del Communication Gateway para el equipo Digital Train. Estas comunicaciones tren-tierra se realizarán a través de un direccionamiento privado de TMB (e.g.: APN privado TMB sobre red móvil pública 4G/5G, red 5G privada, Wireless privado, etc. según servicios disponibles en infraestructura de tierra de TMB) y contra un firewall de TMB.

2.17 INTEGRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DIGITAL TRAIN EN EL TREN Y EN SU RED DE COMUNICACIONES TCN

Esquema de bloques de los equipos embarcados en el tren por la integración de los datos de tren en la plataforma de Digitalización de activos de FMB:



2.17.1 Monitorización pasiva del tráfico de la red de tren TCN

Con la finalidad de integrar el sistema Digital Train de FMB en los trenes objeto de este pliego, el adjudicatario deberá suministrar e instalar una solución de monitorización pasiva de la red Ethernet embarcada TCN, que permita la captura no intrusiva del tráfico de datos, con fines de diagnóstico y análisis.

El sistema deberá permitir la captación en tiempo real de todo el tráfico Ethernet (broadcast, multicast y unicast) entre los dispositivos de la red TCN, sin modificar, interferir ni retransmitir ningún dato. Esta monitorización deberá ser totalmente pasiva y segura, garantizando la integridad de las comunicaciones entre los equipos embarcados y, por lo tanto, sin impacto en el funcionamiento del tren.

En el caso que la implementación de la red TCN permita el enrutado del tráfico a través del Communication Gateway hacia el Digital Train sin que este encaminamiento suponga ninguna modificación, alteración ni interferencia del tráfico de la red TCN no se requerirá ningún equipo ni interfaz adicional para la implementación de la funcionalidad de monitorización pasiva.

En caso contrario, si la implementación de la red TCN no permite garantizar que el enrutado del tráfico TCN a través del Communication Gateway que no se interfiera o altere el tráfico en la red de control TCN, la función de la monitorización pasiva deberá llevarse a cabo mediante un equipo específico el cual deberá cumplir, como mínimo, los siguientes requisitos técnicos:

- 2 puertos Ethernet tipo M12 compatibles con velocidades de 10/100/1000 Mbps, para conexión a la red TCN embarcada del tren y al PC Digital Train.
- Garantía, a nivel de hardware, de que el puerto de salida de monitorización sea físicamente "read-only", impidiendo cualquier transmisión o modificación del tráfico original.
- Alimentación en corriente continua, compatible con las fuentes embarcadas del tren (110 VDC) o, en su caso, mediante conversor DC/DC adecuado.
- Diseño robusto, apto para entornos industriales y ferroviarios, con resistencia a vibraciones, polvo, humedad y amplio rango de temperaturas operativas.

Tanto el dispositivo como cualquier elemento asociado (fuentes de alimentación, adaptadores, interfaces, etc.) deberán cumplir las siguientes normativas:

- EN 50155: Equipamiento electrónico embarcado para material móvil ferroviario.
- EN 45545-2: Comportamiento al fuego de los materiales ferroviarios.
- IEC 61373: Resistencia a vibraciones e impactos.

A título indicativo y no limitativo, se considerará válido un dispositivo de características equivalentes al Profitap IOTA 1G M12. También se aceptarán otros dispositivos equivalentes, siempre que cumplan todos los requisitos técnicos y normativos descritos y que se pueda acreditar de manera fehaciente que el puerto de monitorización no permite ningún tipo de transmisión a la red TCN.

La conectividad con el PC de Digital Train se hará con conector M12 de 8 pines con codificación A, por lo que el suministro incluirá el cableado conectores y adaptadores, en su caso, entre el equipo de monitorización pasivo de la red Ethernet y el PC Digital Train.

En la fase de proyecto se determinará si debe dedicarse un equipo específico para la monitorización pasiva o si bien puede efectuarse la misma mediante el enrutado del tráfico de la red TCN a través del Communication Gateway.

2.17.2 PC de Digital Train

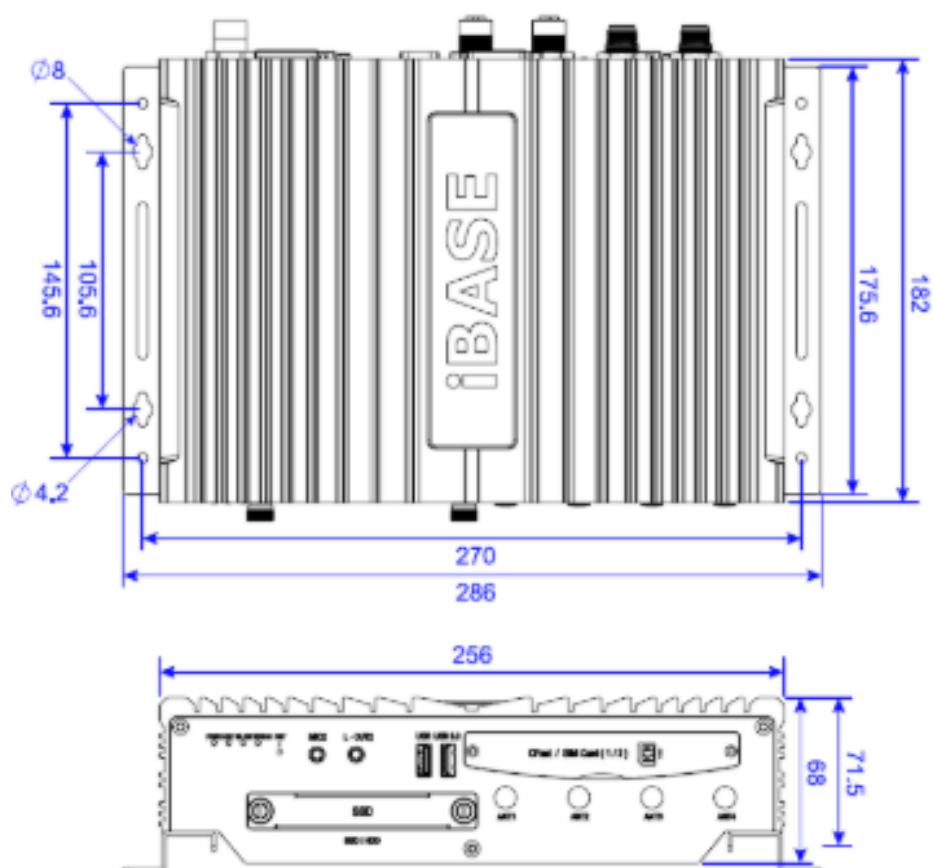
El equipo PC Digital Train con el software correspondiente será entregado por FMB al adjudicatario para su instalación e integración en el tren.

El adjudicatario deberá elaborar el correspondiente proyecto y diseño global de implementación, previamente a la instalación, asegurando el cumplimiento de los requisitos que se indican a continuación para la correcta instalación de los equipos y accesorios (cableado, soportes, etc.) necesarios para el funcionamiento óptimo de la solución Digital Train en los nuevos trenes:

1. Armario dedicado a la zona de pasaje (zona de viajeros):

El adjudicatario deberá prever, suministrar e instalar un armario específico, ubicado en la zona de pasaje del tren, con capacidad para alojar los siguientes elementos:

- Un espacio libre mínimo equivalente a un rack de 4U con una profundidad de 220 mm, destinado a la instalación, por parte del adjudicatario, del PC del sistema Digital Train y del convertidor DC/DC (110 V a 24 V), que serán entregados por FMB al adjudicatario.
- Una línea de alimentación de 110 Vdc con conexión a toma de tierra, procedente del armario de magnetotérmicos del coche. Esta línea deberá estar protegida con un magnetotérmico de un solo polo, de 4 A de corriente nominal, 1 kV de aislamiento y de tipo UCK, previamente reservado por el PC del Digital Train y otro por el equipo de monitorización pasiva del tráfico de la red TCN en caso de que este sea necesario según los requerimientos expuestos,
- En caso de requerirse un equipo específico para la monitorización pasiva del tráfico de la red TCN, este será suministrado por el adjudicatario. El espacio requerido por el mismo en el armario vendrá determinado por el modelo escogido por el adjudicatario. El modelo sugerido se puede instalar en el espacio de un rack unido (1U) de altura (44–45 mm) y 165 mm de profundidad.
- La estructura del armario y la disposición de los equipos deberán garantizar una fácil accesibilidad y mantenibilidad para operaciones de revisión y mantenimiento.
- Dimensiones del PC de Digital Train:



2.17.3 Antenas 4/5G y wifi

El adjudicatario suministrará e instalará una antena 4G/5G y una antena WIFI en el techo coche donde se disponga el armario anterior, que estará cableada hasta el armario del mismo coche especificado en el punto 1, para la conexión con el equipo PC del Digital Train

2.17.4 Integración de los datos de la red de tren

Formará parte de esta licitación la integración completa de la información que circula por la red de comunicaciones del tren con el sistema Digital Train de FMB, con la finalidad de facilitar la supervisión, diagnosis y gestión avanzada de activos.

El adjudicatario deberá:

- Integrar todos los datos y variables disponibles en la red de comunicaciones propuesta para el tren.
- Proporcionar a FMB toda la documentación técnica necesaria para garantizar esta integración, incluyendo:
 - Bibliotecas, interfaces y protocolos de comunicación.
 - Herramientas de desarrollo (SDK), manuales y esquemas de datos.
 - Cualquier otro recurso técnico esencial para asegurar una integración funcional, segura, escalable y efectiva, de acuerdo con las normas IEC 61375 (TCN).

2.17.5 Requisitos de acceso y disponibilidad de datos

El sistema Digital Train deberá disponer de acceso completo, directo y sin restricciones a la siguiente información:

- Todos los datos y variables que circulen por la red de comunicaciones interna del tren, en tiempo real.
- Información de conducción disponible en el puesto de conducción para el motorista.
- Datos de ayuda a la conducción, alarmas e información de mantenimiento que dispongan los diferentes equipos.
- No podrá existir ninguna limitación técnica, contractual ni de propiedad intelectual que impida, restrinja o condicione el acceso, la integración o el funcionamiento de la plataforma Digital Train.

2.17.6 Obligaciones de integración y coordinación

El adjudicatario deberá llevar a cabo la integración técnica efectiva de todos los datos del bus de tren TCN con el sistema Digital Train, en coordinación con el equipo responsable de la plataforma de gestión de activos de FMB. Esta integración deberá garantizar la interoperabilidad, seguridad y eficiencia de la solución global.

2.17.7 Contenido de la propuesta técnica

La propuesta técnica deberá incluir:

- Una descripción detallada del mecanismo de integración propuesto.
- Las especificaciones de los puntos de acceso a la información y los protocolos empleados.
- En su caso, una propuesta de ubicación e instalación del hardware adicional necesario para la captación o transmisión de datos.

2.18 TRENES AUSCULTADORES

FMB utiliza trenes específicos, denominados "Auscultadores", para la monitorización continua del estado de la infraestructura. Estos trenes son unidades convencionales de cada línea, equipados con sistemas de sensórica avanzados para la medida de parámetros críticos durante el servicio comercial. Los datos obtenidos se transmiten en tiempo real a la plataforma de digitalización de activos, permitiendo el seguimiento del estado de la infraestructura y la generación de alertas en caso de superar los umbrales predefinidos, garantizando la seguridad de la circulación.

Es objeto de la presente licitación que dos (2) de las unidades previstas para el lote 1 (no se deberán entregar antes del tren 15 de salida de fábrica) deberán ir equipados con los sistemas y sensórica descritas en este capítulo, y anexos descriptivos, instalados, validados y en disposición para entrar en funcionamiento.

Los trenes auscultadores con todos los sistemas de sensorización incorporados estarán convenientemente documentados y validados por el adjudicatario como el resto de los trenes de esta licitación.

2.18.1 Subsistemas y alcance a incluir en los dos trenes auscultadores

Los subsistemas a incorporar a los dos trenes auscultadores y que son de alcance incluido en esta licitación son, para cada uno de ellos, los siguientes:

- **Geometría de vía.** Actualmente, FMB instala en sus trenes auscultadores la solución embarcada VMRail de VirtualMech. El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, esta solución u otra de iguales características funcionales y técnicas, todo descrito en el Anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*).
- **Monitorización del estado del carril.** Actualmente, FMB instala en sus trenes auscultadores el sistema de monitorización en línea de bogies SKF, modelo IMx-B el cual incluye:
 - Dos acelerómetros instalados en la caja de grasa SKF.
 - Un grupo de tres acelerómetros a cada lado del bogie (dos para el eje Z, perpendicular al plano de la vía, y uno para el eje Y para el análisis de aceleraciones laterales).
 - Un giroscopio para la medida de la velocidad angular y la detección de posibles desalineaciones o vibraciones anómalas en el bogie.

El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, esta solución u otra de iguales características funcionales y técnicas, todo descrito en el Anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*).

- **Monitorización de temperatura de carril.** Actualmente FMB instala en sus trenes auscultadores el termómetro de carril embarcado en el tren MTCO de Smart Motors (Thinking Forward XXI). El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, esta solución u otra de iguales características funcionales y técnicas, todo descrito en el Anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*).
- **Monitorización acústica.** Actualmente FMB instala en sus trenes auscultadores el sensor de audio modelo CESVA TA150, equipados con módulos de análisis de 1/3 de octava y captura de audio. El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, esta solución u otra de iguales características funcionales y técnicas, todo descrito en el Anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*).
- **Sistema de medida de gálibo de túnel.** FMB instala en sus trenes auscultadores un sistema de medida de gálibo de túnel y detección de temperatura de la infraestructura

como el descrito en el anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*). Así, el Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, un equipo de las mismas características funcionales y técnicas que allí se detallan. Como referencia, algunas unidades de la red de FMB instalan los equipos Train Clearence Monitoring System de Loccioni con este propósito.

- **Sistema de inspección y medición de la catenaria ferroviaria.** FMB instala en sus trenes auscultadores un sistema de inspección y medición de la catenaria ferroviaria como el descrito en el anexo correspondiente (*PPT-Trens2026_DIGIN-Annexos*). Así, el Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, un equipo de las mismas características funcionales y técnicas que allí se detallan. Como referencia, algunas unidades de la red de FMB instalan los equipos de Pantohealth con este propósito.
- **Sistema de detección de fisuras de carril.** Aunque este sistema no forma parte del suministro incluido en esta licitación, sí se incluyen la instalación del cableado Ethernet y de alimentación, el rack para la eventual futura instalación de la unidad de procesado embarcado, y la estructura de soporte bajo bastidor del tren, con espacio destinado al montaje del sistema de captación de imágenes del carril y sistema de iluminación. Los cableados entre el rack del servidor y el sistema de captación, así como las propuestas de reserva de espacio, se muestran en los esquemas incluidos a continuación en este capítulo.
- **Odómetro y equipo de sincronía.** Se incluye un odómetro con encoder de eje multicanal para entornos ferroviarios (p. ej. Lenord + Bauer axle) para proporcionar esta señal a todos los equipos de monitorización que lo requieren con las siguientes características:
 - Hasta 8 canales independientes por pulsos/cuadratura.
 - Resolución ≥ 3000 ppv por canal.
 - Salidas robustas (HTL, RS-422, push-pull) compatibles con múltiples receptores.
 - Cumplimiento de normas ferroviarias (EN 50155, IEC 61373).

El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, un equipo de las mismas características funcionales y técnicas mostradas. Se aceptarán otras soluciones equivalentes, siempre que ofrezcan multicanalidad, alta resolución y robusteza ferroviaria probada.

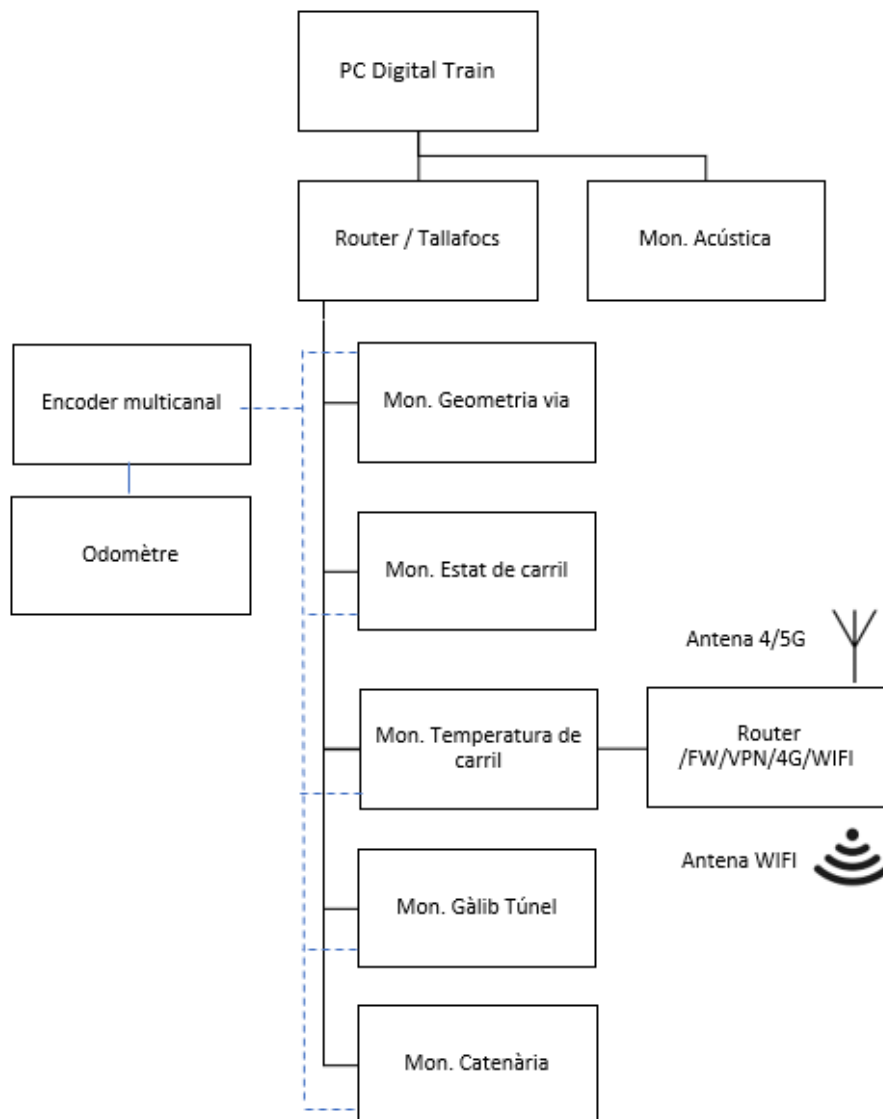
2.18.1.1 Arquitectura de red de los sistemas de auscultación

Todos los equipos de auscultación se integrarán en una red dedicada de comunicaciones ethernet físicamente segregada de las redes de control TCN y multiservicio (comunes a todos los trenes), con el fin de garantizar la segmentación de las redes e independizar la gestión de la configuración mantenimiento de ellas. Esta red podrá disponer de concentradores gestionados de N2 o N3 para optimizar el tendido del cableado de red teniendo en cuenta el ancho de banda de los distintos servicios. El Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, la red de auscultación y los equipos de comunicaciones que se precisen (concentradores, etc), concretándose el detalle de esta en la fase de proyecto.

La red de auscultación deberá disponer de un Gateway dedicado con funciones de routing (nivel 3), firewalling, gestión VPNs y, finalmente, capacidad de transmisión en canales 4G/5G y Wifi. Para el caso de las comunicaciones tren-tierra deberá realizar dicha comunicación a través de un direccionamiento privado de FMB (e.g. APN privado FMB, red 5G privada, Wireless privado, etc. según servicios disponibles en infraestructura de tierra de FMB) y contra un firewall de FMB. Todos ellos deberán cumplir con las premisas descritas en el anexo 'Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra'.

La red de auscultación deberá poder intercambiar información con el equipo de Digital Train. Para ello el Gateway dedicado (puerto WAN) que gestione la red de auscultación deberá disponer de una subred dedicada en el Communication Gateway que permita establecer el enrutado del tráfico en ambos sentidos entre el Digital Train y los equipos de auscultación. En la fase de proyecto se concretará el detalle del enrutamiento y configuración de las subredes.

A continuación, se muestra el diagrama de bloques de la arquitectura a añadir a la del resto de trenes para incluir los sistemas auscultadores. El bloque etiquetado con "Router/Tallafocs" se corresponde con el Gateway dedicado para la red de auscultación.



Señal odometría -----

Ethernet —————

Se contempla dentro del alcance del contrato, para el caso de los trenes auscultadores, el suministro del Gateway dedicado para la red de auscultación, el cual deberá cumplir con los requerimientos siguientes:

- **Gateway Auscultación (FW/VPN/4G/WIFI).** Este equipo actuará como Gateway industrial multifuncional certificado para uso ferroviario, diseñado para centralizar y gestionar la comunicación entre los sistemas de auscultación embarcados y los servidores remotos (cloud) de los diferentes fabricantes y tecnologías de sensores. El

dispositivo deberá sustituir la necesidad de instalar múltiples routers, tarjetas SIM o puntos de acceso independientes para cada equipo sensor, mediante una gestión unificada de la conectividad 4G/5G, Wi-Fi y Ethernet. El equipo deberá cumplir los siguientes requerimientos:

- Requerimientos funcionales mínimos:
 - o Certificación ferroviaria: EN 50155, EN 61373, EN 45545 y marcados CE/FCC.
 - o Rango de temperatura operativa: mínimo -40°C a $+65^{\circ}\text{C}$.
 - o Conectividad móvil: doble módem LTE Cat 6 o superior con mínimo 2 ranuras SIM y gestión de failover y load balancing.
 - o Conectividad Wi-Fi: capacidad AP/cliente y múltiples SSID.
 - o Switch Ethernet integrado: mínimo 4 puertos Gigabit con conectores M12 (X-coded), con soporte PoE (mínimo 60 W de presupuesto global).
 - o Alimentación eléctrica: 24–110 V DC con entrada doble por redundancia.
 - o Instalación y carcasa: grado de protección IP54 o IP65, conectores antivibración, montaje DIN o mural.
 - o Antena externa: mínimo por LTE, con conectores SMA o equivalentes.
 - o Soporte completo para VLAN (IEEE 802.1Q): permitirá la segmentación lógica para aislar las comunicaciones de cada dispositivo embarcado
- Funcionalidades de ciberseguridad requeridas.

El equipo deberá incluir, de manera nativo e integrada, funcionalidades de ciberseguridad industrial para garantizar la protección de las comunicaciones entre los sistemas embarcados y los servidores remotos, como mínimo:

- o Cortafuegos (firewall) de tipo stateful con soporte para: Listas de control de acceso (ACL), Filtrado por IP, puerto y protocolo NAT/PAT.
- o Cifrado de comunicaciones mediante: VPN IPsec y OpenVPN (cliente y/o servidor).

- o Protección contra ataques: Prevención básica de DoS y escaneo de puertos, Filtrado de MAC y control de dispositivos autorizados.
- o Registro de eventos y alertas: Logs de acceso y de errores consultables localmente o vía SNMP/syslog.
- Modelos de referencia: Se considerarán conformes, a título de ejemplo no limitativo, los siguientes equipos:
 - o Lantech TMR-5004-2L-2SB-WV-65-EUNA. Router LTE dual para aplicaciones ferroviarias con VPN, firewall, PoE y segmentación VLAN. Certificación EN 50155.
 - o Westermo Ibex-RT-630. Router ferroviario con LTE-A Cat 12, Wi-Fi dual-band, protección IP66, VPN y funcionalidades de ciberseguridad con soporte completo de VLAN.

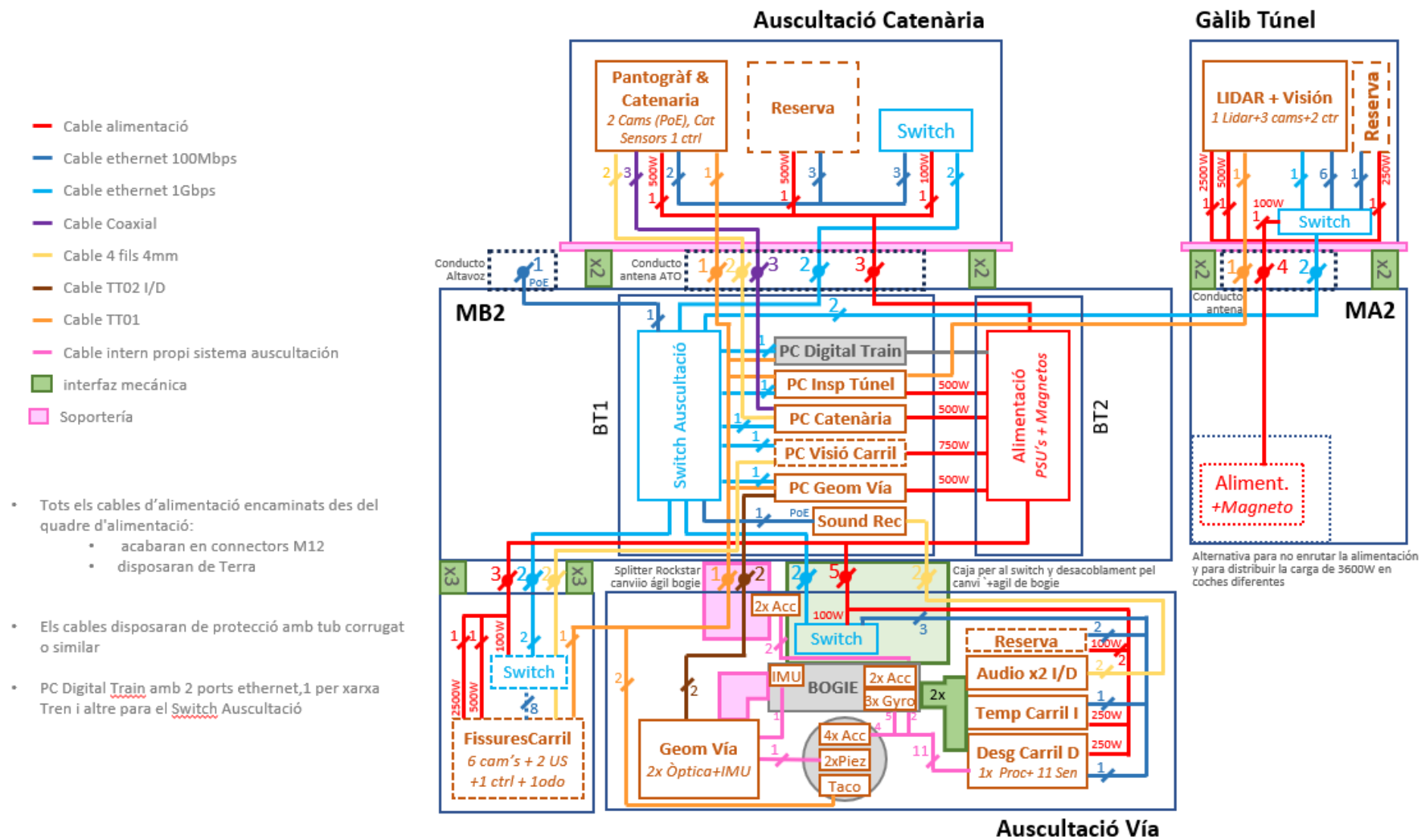
2.18.1.2 Localización de los equipos de auscultación

El tren auscultador se basa en un concepto modular y escalable, con soporte estructural común para diferentes equipos y sistemas embarcados, minimizando interfaces mecánicas con el material rodante y facilitando el mantenimiento y la escalabilidad futura. Inicialmente, se prevé la necesidad de sólo tres puntos principales de instalación:

- Una estructura dedicada a los equipos de auscultación de geometría de vía debajo del bastidor.
- Una estructura de auscultación de catenaria, en el techo.
- Espacio en armarios en la zona de pasaje para incorporar los racks para alojar los equipos de cabina necesarios para los módulos de auscultación de vía, catenaria y túnel. Estos armarios se encontrarán en el mismo coche donde se instalen las estructuras de cada sistema auscultador coche, preferiblemente estarán en el mismo armario que se encuentre el PC del Digital Train.
- Además, se requerirá una instalación mínima adicional a los coches motores extremos (MA) para los sistemas asociados a la inspección de túnel.

Forma parte del alcance de esta licitación el suministro e instalación de los elementos de soportería y fijación mecánica para los distintos equipos de auscultación. También forma parte del alcance la instalación de las acometidas de alimentación de los distintos equipos (debidamente enrutadas y protegidas), los correspondientes conectores, así como de sus correspondientes magnetotérmicos (u otras protecciones) monitorizados.

A título de ejemplo, se presenta un diagrama con los cableados de alimentación y Ethernet requeridos por los equipos actualmente en uso en FMB, al que habrá que añadir los cableados correspondientes a la señal de odometría. Este diseño podrá variar en función de los equipos que proponga el Adjudicatario para la realización de las funciones de auscultación, así como de la propuesta concreta de la red de auscultación (uso de concentradores, etc.) que optimizan el cableado sin comprometer los anchos de banda necesarios para cada tipo de sensor. El elemento destacado con la etiqueta de “Switch Auscultació” ubicado en el armario BT1 se corresponde funcionalmente con el Gateway dedicado para la red de auscultación.



2.18.1.3 Disposición de armarios y elementos auxiliares para la instalación de los equipos de trenes auscultadores

En muchos de los casos los equipos de monitorización de infraestructura deben realizar un intenso procesamiento de datos (imágenes de alta velocidad y resolución) en los equipos embarcados, requiriendo PCs o similares de altas prestaciones computacionales. Como principio de diseño se ha previsto que estos equipos no se instalen en el exterior, para lo cual requerirían elementos de protección adicionales y comprometerían mayores volúmenes, por lo que se requiere que idealmente sean instalados en el mismo armario que los equipos de Digital Train y Gateway Dedicado para la red de auscultación. Para determinar el volumen de estos equipos se efectúa una primera estimación de las dimensiones requeridas por estos, si bien en la fase de proyecto se acabarán de precisar:

- Espacio correspondiente a un rack 6*4U de 220 mm para poder instalar posteriormente los equipos procesadores de datos (2 PCs Industriales para equipos bajo caja, 2 PCs Industriales para los equipos ubicados en el techo, 1 PC Industrial para los equipos de visión en MA1 y MA2, y 4Us para lógica de control de otros equipos de monitorización).
- Un Gateway dedicado para la red de los equipos de auscultación, conectado también al nodo de comunicaciones Communication Gateway para facilitar la transmisión bidireccional a los servicios cloud para cada uno de los subsistemas de auscultación. En la fase de proyecto se determinarán las subredes específicas, el enrutamiento y los niveles de servicio (QoS) requeridos por cada uno de ellos.
- Sobre el espacio reservado para el rack debe haber al menos una borna de conexión a alimentación de 72V DC y una para GND. Esta alimentación irá cableada desde el armario de magnetotérmicos del coche donde se utilizará un magnetotérmico reservado de un polo, 4 amperios de corriente nominal y 10kA de aislamiento y tipo UCK.

El Adjudicatario suministrará e instalará el rack en el armario correspondiente. Asimismo, implementará las sujeciones mecánicas (arriostrados, etc.) necesarios para garantizar la fijación del rack a la estructura del coche.

El armario deberá contar con un sistema de ventilación hacia el túnel exterior (bien por sobrepresión de la cabina o forzadamente) para garantizar la disipación térmica de los equipos ubicados en el armario. Las ranuras de ventilación hacia el exterior deberán evitar que durante el lavado de trenes se filtre humedad que pueda dañar los equipos. A su vez deberá contar con algún tipo de filtro que evite la entrada de partículas externas.

2.18.2 Documentación de los trenes auscultadores

El Adjudicatario, en cuanto a todas las instalaciones realizadas y equipos suministrados por el mismo para los subsistemas de auscultación, deberá reflejarlos consistentemente en toda la documentación del tren (planos generales y de detalle, esquemas eléctricos, esquemas de comunicaciones, manuales de mantenimiento, documentación de montaje etc.).

2.19 TELEMANDOS

La función de control remoto por radio para maniobras no forma parte del alcance funcional inicial del suministro. No obstante, el tren deberá quedar preparado para su futura incorporación en el marco de la evolución a GOA4 y del sistema de telemandos, extremo que el Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto.

El tren deberá diseñarse de forma que permita su futura automatización a nivel GOA4, contemplando la disponibilidad de órdenes telemandadas gestionables desde el Centro de Control.

La implantación de dichas funcionalidades no deberá requerir modificaciones adicionales de hardware o software embarcado, siendo únicamente necesaria la integración de los sistemas de comunicación tren-tierra que se definan en el correspondiente proyecto de automatización.

El Adjudicatario deberá presentar en fase de proyecto un estudio que demuestre técnicamente la viabilidad de la futura operación telemandada del tren desde el Centro de Control.

Las órdenes telemandadas mínimas que deberá considerar en dicho estudio serán las siguientes:

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Rearme desbloqueo puerta de evacuación frontal	Cuando se accione manualmente el dispositivo de desbloqueo (con tren parado) de las puertas de emergencia, con las puertas otra vez cerradas será posible que vuelvan a bloquearse tras la recepción de la orden procedente del CCM. Dicha orden provocará el rearme del dispositivo de desbloqueo de emergencia.
Rearme magnetotérmico de protección batería	En caso de que el magnetotérmico de protección de la batería se abra, será posible su rearme desde el CCM tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM.

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Conexión remota de los convertidores estáticos.	Los convertidores estáticos se conectarán tras recibir la pertinente orden desde el CCM.
Desconexión remota de los Convertidores estáticos.	Los convertidores estáticos se desconectarán tras recibir la pertinente orden desde el CCM.
Rearme remoto de los equipos de tracción inhibidos	En caso de avería, el equipo de tracción se inhibirá o si fuese necesario se desconectará de la AT de forma automática. Dicha desconexión será anulada cuando se reciba la orden pertinente desde el CCM.
Conexión remota del disyuntor principal	Será posible conectar el disyuntor principal de cada pareja de coches Ma y Mb a voluntad del operador del CCM a través de las órdenes pertinentes.
Desconexión remota del disyuntor principal	Será posible desconectar el disyuntor principal de cada pareja de coches Ma y Mb a voluntad del operador del CCM a través de las órdenes pertinentes.
Anulación remota del freno de servicio de un coche	El freno de servicio del coche seleccionado por el operador del CCM quedará anulado tras la recepción de la orden pertinente.
Inhibición remota de la anulación del freno de servicio de un coche	La anulación del freno de servicio se inhibirá tras la recepción de la orden pertinente procedente del CCM.
Configuración remota del modo de “apertura general de puertas”	El modo “apertura general de las puertas” del tren podrá configurarse desde el CCM para que, sin necesidad de que el pasaje active el pulsador de apertura de cada puerta, éstas se abran en base al lado de puertas seleccionadas por el sistema de señalización. Para ello el operador del CCM enviará la orden pertinente

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Configuración remota del modo “apertura individual de puertas”	El modo “apertura general de puertas” del tren podrá cancelarse volviéndose al modo “apertura individual de puertas” (en cada caso del lado que toque según la información recibida del ATC) tras la emisión por parte del operador del CCM de la orden pertinente. En el modo de “apertura individual de puertas” el pasajero debe pulsar el pulsador de puertas para su apertura.
Bypass del lazo de autorización de tracción	Cuando por el motivo que sea se produzca una apertura del lazo de tracción, será posible la anulación (by-pass) de la misma tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM
Reposición remota de un tirador de alarma accionado.	El tirador de alarma seleccionado se repondrá automáticamente tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM.
Bypass remoto del lazo de tiradores de emergencia	Cuando por el motivo que sea se produzca una apertura del lazo de tiradores de alarma, será posible la anulación (by-pass) del mismo tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM
Recuperación remota del lazo de tiradores de emergencia	Cuando por el motivo que sea se produzca una anulación del lazo de tiradores de alarma, será posible la recuperación (anulación by-pass) del mismo tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM
Activación del alumbrado ordinario	Desde el CCM será posible encender el alumbrado ordinario.
Desactivación del alumbrado ordinario	Desde el CCM será posible apagar el alumbrado ordinario.
Apertura de las trampillas de entrada de aire del equipo de aire acondicionado	Desde el CCM podrán abrirse a voluntad del operador del mismo, las trampillas de entrada de aire de los equipos de aire acondicionado

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Cierre de las trampillas de entrada de aire del equipo de aire acondicionado	Desde el CCM podrán cerrarse a voluntad del operador del mismo, las trampillas de entrada de aire de los equipos de aire acondicionado
Inhibición pantógrafos semi-unidad	Será posible inhibir (hacer que bajen) los 2 pantógrafos de cada semi-unidad desde el CCM.
Recuperación pantógrafos semi-unidad	Será posible recuperar (hacer que suban) los 2 pantógrafos inhibidos de cada semi-unidad desde el CCM.
Reset remoto de alarma de fuego	En caso de señalización remota de alarma de fuego de nivel 4, deberá ser posible desde el CCM su reseteo por parte del operador del mismo.
Activación remota de la Opción "Videodifusión" en el tren	Será posible activar la videodifusión a bordo del tren desde el CCM
Desactivación remota de la Opción "Videodifusión" en el tren	Será posible desactivar la videodifusión a bordo del tren desde el CCM
Activación remota de la grabación de emergencia.	Será posible activar la grabación de emergencia desde el CCM.
Desactivación remota de la grabación de emergencia.	Será posible desactivar la grabación de emergencia desde el CCM.
Fecha y hora	El CCM remitirá la fecha y hora a los trenes para que una vez recibida, se actualice en todos los equipos de los mismos.

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Activación remota de un Intercomunicador de emergencia	Será posible activar remotamente un intercomunicador de alarma para poder escuchar el sonido ambiente recogido por ese intercomunicador desde el CCM.
Desactivación remota de un Intercomunicador de emergencia	Será posible desactivar remotamente un intercomunicador de alarma para poder escuchar el sonido ambiente recogido por ese intercomunicador desde el CCM.
Emisión remota de un mensaje pregrabado de audio a través de megafonía	Será posible activar la emisión de un determinado mensaje de audio almacenado en el sistema de información al viajero desde el CCM.
Cancelación remota del bypass de la autorización de tracción	En caso de apertura del lazo de tracción y una vez realizado el bypass del mismo desde el CCM, será posible cancelar ese bypass.
Bypass remoto del equipo de control de freno	Será posible desde el CCM y a través de la orden correspondiente, realizar la anulación de la acción del equipo de control de freno sobre el lazo de emergencia.
Recuperación remota del equipo de control de freno	Será posible desde el CCM y a través de la orden correspondiente, eliminar la anulación de la acción del equipo de control de freno sobre el lazo de emergencia.
Activación remota de los equipos de climatización	Desde el CCM, se podrá ordenar en caso necesario y siempre que el tren esté preparado y con AT disponible, la conexión de los equipos de climatización.
Desactivación remota de los equipos de climatización	Desde el CCM, se podrá ordenar en caso necesario y siempre que el tren esté preparado y con AT disponible, la desconexión de los equipos de climatización.

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Selección remota de la temperatura de consigna (o nivel) de los equipos de climatización	Desde el CCM será posible seleccionar la temperatura de consigna (o nivel, si hay diferentes temperaturas preseleccionadas) para los equipos de climatización.
Petición de megafonía interior a público desde CCM	El operador del CCM podrá realizar en cualquier momento una megafonía a público a través de los altavoces interiores del tren
Petición de megafonía interior+exterior a público+andén desde el CCM.	El operador del CCM podrá realizaren cualquier momento una megafonía a público y a andén a través de los altavoces interiores y exteriores del tren.
Parada del tren por orden del operador del CCM	En caso necesario, tren en conducción manual fuera de control (vandalismo), el operador del CCM podrá ordenar la parada del tren a través de esta orden remota.
Anulación de la parada del tren por orden del operador de CCM	En caso necesario, un tren en conducción manual (modos manuales del ATC) parado por orden del operador del CCM podrá ser autorizado a continuar circulando en estos modos a través de la pertinente orden remota.
Emisión a través de los monitores de pasaje de mensajes de texto escritos a tiempo real por el operador del CCM	Será posible desde el CCM enviar mensajes de texto escritos on-line por el operador de CCM que serán mostrados al pasaje a través de los monitores del departamento de pasajeros.
Test cadena de envío de telemandos y de recepción de alarmas	Desde el CCM será posible hacer un test que confirme la disponibilidad de toda la cadena de envío de telemandos y de recepción de alarmas al tren y desde el tren respectivamente

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
Interrogación estado de las alarmas del tren	En caso necesario será posible recuperar desde el CCM la información relativa al estado de las alarmas de un tren

En fase de proyecto el Adjudicatario deberá demostrar que, desde un telemando de pruebas simulado, aportado por este, se pueden realizar todos estos telemandos.

3. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN (CBM)

El Adjudicatario deberá incluir un Sistema o Plataforma de Mantenimiento Basado en Condición (CBM) propio capaz de monitorizar continuamente el estado y condición de los componentes considerados críticos del tren ofertado desde el punto de vista del estado físico de los componentes, su seguridad y condición.

Dicho sistema deberá redundar en una mayor fiabilidad, mayor seguridad, mejor condición, mayor utilización, mayor tiempo de actividad y operación reduciendo los costos de mantenimiento (frecuencias, horas/hombre, repuestos) y de oportunidad (mayor disponibilidad de los activos) de los activos ferroviarios al permitir el Mantenimiento Predictivo, que conduce a la reducción de fallos catastróficos, críticos y repentinos de estos activos.

El mantenimiento de los trenes deberá priorizar el mantenimiento basado en condición, si la tecnología es asumible y comisionable, siendo las tareas preventivas último recurso en el caso que la tecnología deje el modo de fallo ciego y por tanto se imponga inspección y/o reemplazo en tiempo o kilómetros.

Los objetivos esperados del CBM son por orden cronológico:

- 1º.- Gestión de alarmas: detectar estados anómalos del activo generando alertas de fallos en tiempo real.
- 2º.- Diagnóstico: detección, localización e identificación del fallo.
- 3º.- Prognosis: predecir la vida remanente. Especificando el horizonte de la prognosis, su precisión e incertidumbre en la predicción.
- 4º.- Proponer acciones de mantenimiento a partir de los puntos anteriores. Prescriptivo con diferentes contextos operativos para extensión de vida o mover la actividad de mantenimiento hasta la ventana de mantenimiento deseada.

3.1 METODOLOGÍA

Los pasos para la implantación de la Plataforma CBM serán los siguientes:

Durante la fase de proyecto:

- 1.- Realización de un análisis RCM de los principales sistemas. Dicho análisis se realizará durante la fase de proyecto y deberá ser validado por FMB. Será condición indispensable para la recepción provisional del primer tren que dicho RCM esté finalizado.

2.- Identificación de los modos y causas de fallos detectables y predecibles con la instrumentación comisionada en el tren.

3.- Establecimiento de aquellos sistemas y equipos donde se implantará mantenimiento basado en CBM. Dichos sistemas deberán ser acordados con FMB, y como mínimo serán los que aparecen en el presente pliego. Determinación de las variables necesarias y sensorización de las mismas. Proposición de soluciones para la detección de fallos ocultos.

Durante la fase de garantía:

4.- Implantación de CBM basado en los datos contenidos en el bus de comunicaciones del tren (red TCN) y sensorización adicional de aquellos elementos que lo precisen para obtener las variables de estado de equipo relevantes y fallos ocultos.

5.- Análisis y creación de la algorítmica que definirá el mantenimiento basado en CBM. Dichas actividades se harán en un equipo compartido del Adjudicatario con FMB que se definirá al inicio de la fase de garantía. Se especificará el performance de los algoritmos para diagnosis y prognosis preferiblemente usando assemblers como combinación múltiple de algoritmos concurrentes.

6.- Integración de la plataforma CBM con el GMAO de FMB (SAP), vinculando las ordenes de trabajo de mantenimiento con la plataforma CBM.

7.- Mejora y creación de nueva algorítmica (y sensorización adicional y modelización si fuera preciso) para la mejora del mantenimiento basado en CBM.

Para validar que la implantación de la plataforma CBM es satisfactoria en la fase de garantía se establece como objetivos mínimos:

- Mejora de al menos un 10% la fiabilidad de servicio de la flota respecto a la contractual.
- Mejora de al menos un 10% en los costes ofertados de LCC.

Al final de la fase de garantía se deberá generar un informe donde se indique las actividades desarrolladas y los beneficios conseguidos, así como el plan de trabajo para los siguientes años, que deberá ser aprobado por FMB especificando claramente la integridad de los activos a través de unos KPIs claros asegurando que la función se sigue entregando al final de ese periodo sin merma de la integridad del mismo.

El Adjudicatario deberá adecuar el plan de mantenimiento a las mejoras conseguidas por la aplicación del mantenimiento basado en CBM.

Toda la información que se genere incluida la algoritmia durante el proyecto será propiedad de FMB y se proveerá en el lenguaje acordado para su ulterior integración en la plataforma.

3.2 CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA CBM

La plataforma CBM estará compuesta por:

- Base de datos masivos.
- Herramienta de analítica.
- Sensorización.
- Plataforma propia de monitorización y análisis en tren.
- Integración con la plataforma Digital train (la plataforma CBM tendrá en consideración la herramienta Digital Train que el tren ya tendrá incorporada y que dispondrá de acceso a todas las variables de la plataforma del Adjudicatario).
- Módulo de presentación de datos para diferentes roles (operación, mantenimiento, analistas de datos, etc.). Dicho módulo estará preparado para ser visible en cualquier tipo de dispositivo móvil o fijo.

Todos los datos recopilados en el tren deberán también pasar a través de la CPU de Digital Train, preprocesados, y serán enviados a la base de datos de FMB y del Adjudicatario (si tuvieran que ser diferentes) mediante una interfaz directa con el nodo de comunicaciones descrito en el capítulo 2, definiéndose el detalle y los niveles de servicio (QoS) requeridos en la fase de proyecto.

La herramienta analítica deberá generar la algorítmica necesaria para la toma de decisiones y el mantenimiento basado en CBM. Toda la algorítmica producida será facilitada a FMB por si esta quisiera integrarla en su propia herramienta. Se deberá especificar cuándo se incorporan componentes “Smart”, “edgecomputing” o “cloudcomputing” teniendo en cuenta limitaciones de ancho de banda y almacenamiento y con clara ubicación de la analítica comisionada.

La sensórica será preferiblemente sin batería. En caso de precisar batería interna está tendrá una duración mínima de 5 años con facilidad de reemplazo e intercambio. También se procurará que sea inalámbrica, pudiendo transmitir los datos recogidos mediante medios propios o aprovechando la red

interna wifi del tren. La sensórica cableada no deberá afectar la mantenibilidad de los componentes donde se encuentra comisionada.

El sistema debe considerar que cualquier cambio en la tecnología de comunicación y la electrónica de los sensores no debe degradar su rendimiento ni debe exigir que FMB esté obligado a cambiar el sistema adquirido para obtener los beneficios previstos. La fiabilidad de la sensórica y electrónica de preprocesado tendrá una vida esperada similar a la del tren y calculado acorde a los estándares MIL HDBK 217, FIDES, o similar.

3.3 EQUIPOS BÁSICOS A MONITORIZAR

El Adjudicatario deberá considerar la aplicación de técnicas CBM de al menos los siguientes equipos y sistemas. Se relacionan también las variables mínimas a monitorizar:

SISTEMA	VARIABLES A MONITORIZAR
Bogies	- Rodamientos caja de grasa (vibraciones). - Rodamientos reductor (vibraciones). - Rodamientos Motores (vibraciones). - Vibraciones estructura bogie. - Temperatura caja de grasa. - Temperatura reductor. - Temperatura motor.
Suspensiones	- Aceleración en la caja, indicación de confort
Detección de incendios	- Prueba de detectores de humo
Megafonía	- Variables de estado y diagnóstico del sistema.

Sistema de aire acondicionado sala	- Presiones de alta y baja. - Temperatura exterior - Temperatura retorno. - Tiempo de funcionamiento del compresor - Consumo eléctrico del compresor - Nivel saturación filtro. - Consumo instantáneo de corriente del HVAC completo. - Consumo de ventiladores. - Temperatura salida del refrigerante del condensador. - Temperatura de succión del refrigerante del compresor. - Temperatura de descarga del refrigerante del compresor. - Humedad del aire mezclado. - Humedad del aire suministrado. - Posición trampillas aire. - Medición CO2.

Sistema de aire acondicionado cabina	- Presiones de alta y baja. - Temperatura exterior - Temperatura retorno. - Tiempo de funcionamiento del compresor - Consumo eléctrico del compresor - Nivel saturación filtro. - Consumo instantáneo de corriente del HVAC completo. - Consumo de ventiladores. - Temperatura salida del refrigerante del condensador. - Temperatura de succión del refrigerante del compresor. - Temperatura de descarga del refrigerante del compresor. - Humedad del aire mezclado. - Humedad del aire suministrado. - Posición trampillas aire. - Medición CO2.
Sistemas de puertas	- Variables tarjeta electrónica. - Corriente de motor. - Tensión de motor. - Tiempos de apertura y cierre.

Moto-compresor de aire	- Presión de salida aire. - Caudal. - Temperatura de salida aire. - Horas de funcionamiento. - Ciclo arranque parada. - Consumo eléctrico motor. - Presión diferencial del filtro de entrada. - Temperatura del aire de entrada.
Secador de aire	- Grado de humedad. - Presiones.
Batería	- Tensión. - Corriente. - Temperatura. - Estado de carga.
Cargador de baterías	- Variables eléctricas.
Convertidor estático	- Variables eléctricas. - Variables de autodiagnóstico.
Electrónica de tracción	- Variables de autodiagnóstico
Electrónica de freno neumático	- Variables de autodiagnóstico.

Pantógrafo	- Posición. - Corriente.
Red TCN	- Variables de estado.
Sistema de señalización	- Variables de autodiagnóstico.
Sistema de información al viajero	- Variables de diagnóstico y estado
CTV	- Variables de diagnóstico y estado
Sistema de distribución de baja tensión	- Variables de monitorización de magnetotérmicos
Sistema de media tensión	- Variables de monitorización de magnetotérmicos
Red informática	- Variables de estado red informática
Registrador jurídico (Caja negra)	- Variables de estado
Iluminación	- Nivel de iluminación sala

Para todas las magnitudes, variables y parámetros objeto de monitorización dentro del sistema CBM, el Adjudicatario definirá en fase de proyecto los criterios de supervisión, eventos, umbrales de prealarma y alarma, así como la lógica de tratamiento asociada, sobre la base de la información de diseño, ensayos, validaciones y recomendaciones de fabricante disponibles en cada caso.

Dichos umbrales y criterios no tendrán carácter cerrado ni invariable, sino que deberán poder ajustarse, refinarse, ratificarse o revisarse durante la puesta a punto del sistema y a lo largo de la vida útil del material, en función de la experiencia de explotación, los resultados del mantenimiento basado en condición y la evolución de los modelos de diagnóstico.

3.3.1 Implementación de técnica de mantenimiento basado en fiabilidad (RCM)

Durante la fase de proyecto el Adjudicatario deberá entregar un Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos (AMFE) o un Análisis de los Modos de Fallo, de sus Efectos y Criticidad (AMFEC) de cada uno de los subsistemas con el objetivo de identificar los modos de fallo que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso acciones adicionales o complementarias. Se define un modo de fallo como la forma en la que un activo pierde su habilidad para desempeñar su función, entrando en el estado de fallo o fallo funcional. Se utilizará como referencia la norma EN13306.

Para llevar a cabo el AMFE, los objetivos de éste (o de un AMFEC) deberán incluir:

- a. Una identificación y evaluación completa de todos los efectos no deseados dentro de los límites definidos del sistema a analizar y la secuencia de sucesos ocasionados por cada uno de los modos de fallo del elemento en los distintos niveles de la jerarquía funcional del sistema, cualquiera que sea su causa.
- b. La determinación de la criticidad o la prioridad para considerar o atenuar (véase la Norma UNE-EN 60812) cada modo de fallo respecto al correcto funcionamiento del sistema y su impacto sobre el proceso afectado.
- c. Una clasificación de los modos de fallo identificados según las características pertinentes, incluyendo su facilidad de detección, su capacidad para el diagnóstico, la capacidad de prueba, medidas de compensación y operación (reparación, mantenimiento, logística, etc.) estableciendo el ranking que permita justificar la selección de mantenimiento propuesta en aras de su mitigación.
- d. La identificación de fallos funcionales del sistema y la estimación de medidas de su severidad y de probabilidad de fallo.
- e. El desarrollo de un plan de mejora del diseño para atenuar los modos de fallo.
- f. Apoyar el desarrollo de un plan de mantenimiento eficaz para atenuar o reducir la probabilidad de fallo (véase la Norma IEC 60300-3-11).

Cuando se trata de criticidad o probabilidad de ocurrencia, los comentarios se refieren a la metodología del AMFEC.

Tras realizar el AMFE y/o AMFEC, el Adjudicatario implementará un árbol de decisiones basado en Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM), en sesiones de trabajo multidisciplinares con la participación de FMB. Se tomarán como referencia las normas EN61025 y EN60300-3-11. Dicho árbol se debe realizar con la finalidad de establecer las actividades de mantenimiento más efectivas,

planificándolas en función de la criticidad de los modos de fallo, teniendo en cuenta, principalmente, los efectos de los fallos sobre:

- La seguridad de las personas y del Medio Ambiente.
- La operación del sistema (producción o calidad).

El resultado final de esta fase es la determinación de un Programa de Mantenimiento Optimizado (PMO), evaluando/seleccionando las actividades de mantenimiento y su frecuencia, clasificándolas en:

- Actividades de predictivo/CBM.
- Actividades de preventivo de restauración.
- Actividades de preventivo de sustitución.
- Actividades de búsqueda de fallos ocultos.
- Actividades de correctivo (si se deja funcionar hasta el fallo).
- Actividades de rediseño.

Esto con el fin de elaborar el listado de tareas de mantenimiento predictivo, las variables involucradas y los rangos de tolerancia.

Al comienzo del desarrollo del programa de mantenimiento, el Adjudicatario debe hacer todos los esfuerzos requeridos para establecer un procedimiento que permita documentar electrónicamente los resultados del análisis RCM, así como todas las modificaciones que se realicen en servicio. Por otra parte, cabe destacar que el programa de RCM se puede implementar de manera detallada en los planes de mantenimiento. Estos deben ser integrados en el sistema GMAO (SAP) existentes en FMB.

El contexto operativo y las hipótesis se deberán considerar como documentos vivos y se deberán mantener a lo largo de la vida del elemento. Se deberán revisar regularmente cuando se produzcan cambios en la configuración del elemento o en la demanda de operación. Los cambios en el contexto operativo pueden dar lugar a cambios en los intervalos o las tareas de mantenimiento seleccionados.

Una vez que el plan de mantenimiento se ha generado, será necesario revisarlo periódicamente para tener en cuenta la retroalimentación de los datos de mantenimiento adquiridos a partir de la implementación del análisis RCM y también los requisitos para las actualizaciones del sistema.

Cualquier modificación del sistema, reparación o cambio de configuración estará sujeta a un análisis RCM. Puede que este tipo de acciones no den lugar a cambios en el programa de mantenimiento, pero los cambios en las funciones del sistema se documentarán en la definición del contexto operativo y en los análisis de fallos. Sin embargo, un cambio significativo en el elemento o en su operación podría originar un programa de mantenimiento completamente diferente.

3.3.2 Algoritmos a implantar

Durante la vigencia del contrato se implantarán al menos las siguientes alertas:

Puertas	Desajuste Hojas en Apertura
	Desajuste Hojas en Cierre
	Anomalía en tarjeta electrónica de mando
	Fallo Bloqueo/Desbloqueo
	Fallo Sensor posición puerta
	Fallo Motor
	Fallo tarjeta electrónica de mando
	Fallo Freno electromagnético
	Fallo del pulsador
	Fallo del relé de seguridad de la tarjeta electrónica de mando
	Fallo de comunicaciones de la tarjeta electrónica de mando
Convertidor tracción	Temperatura inversor superior a umbral
	Diferencia tensión catenaria superior a umbral
	Diferencia tensión filtro condensador superior a umbral
Batería	Estado electrolito (umbral inferior y superior)
	Tensión media inferior a umbral
	Tensión mínima de descarga inferior a umbral
	Intensidad de flotación superior a umbral
	Problema de autonomía de la batería
	Prueba de descarga de batería
Generación aire comprimido	Balance Arranques
	Relación de compresión inferior a umbral
	Tiempo de carga superior a umbral
	Posible fallo en la torre de secado
	Consumo medio diario compresor superior a umbral
	Consumo medio diario compresor inferior a umbral
Aire acondicionado (sala y cabina)	Pérdida de comunicación del HVAC
	Posible fallo de compresor
	Tiempo de funcionamiento hora superior a umbral
	Tiempo de funcionamiento hora inferior a umbral
	Anomalía en electrónica alta presión
	Anomalía en electrónica baja presión
	Diferencia consumo diario refrigeración superior a umbral
	Presión de alta superior a umbral
	Presión de alta inferior a umbral
	Presión de baja superior a umbral
	Presión de baja inferior a umbral
	Temperatura impulsión superior a umbral

	Diferencia Temperaturas Impulsión superior a umbral
	Diferencia Temp. Retorno - Consigna superior a umbral
	Temperatura motor condensador superior a umbral
	Temperatura motor evaporador superior a umbral
	Temperatura motor compresor superior a umbral
	El equipo no impulsa aire frío
	Anomalía en el transductor de alta presión
	Anomalía en el transductor de baja presión
Señalización ATP-ATO	Reseteo ATP
	Freno de emergencia en movimiento
	Más de 3 resets de ATP en 10 minutos
Convertidor auxiliar	Temperatura interna superior a un umbral
	Sobreconsumo de corriente
Eje	Detección de ejes bloqueados

Dichas alertas deberán enviarse vía correo electrónico a una lista de distribución de FMB que se definirá en fase de garantía.

Además, el plan de mantenimiento deberá marcar todas aquellas operaciones que se podrían potencialmente realizar por CBM en lugar de por periodicidad o kilometraje. Para dichas operaciones el Adjudicatario definirá los algoritmos que permitan establecer las condiciones en que los equipos deben ser mantenidos.

3.4 INTEGRACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE INFORMACIÓN

El proveedor deberá compartir toda la información y algorítmica que gestione y procese en la plataforma para todos puntos requeridos por FMB que se detallarán en la fase de proyecto. Asimismo, esta plataforma deberá ofrecer una interfaz API para facilitar la integración con otros sistemas de información corporativos, en particular con Digital Train. En la fase de proyecto se precisarán dichas interfases.

3.5 DOCUMENTACIÓN

Se deberá presentar en fase de proyecto:

- Descripción y planificación de implementación del proyecto CBM durante la vigencia del contrato.
- Sistemas y subsistemas que se van a monitorizar durante el proyecto.

4. SEGURIDAD FERROVIARIA

4.1 ENTORNO

Dada la contribución a la seguridad ferroviaria identificada para el sistema licitado, se hace necesario por parte de FMB establecer las condiciones mínimas a satisfacer por el sistema objeto del presente pliego, en materia de seguridad ferroviaria. Con la finalidad de cumplir con los requisitos establecidos en el SGSF de FMB y garantizar así la Seguridad Ferroviaria y la no regresión en Seguridad Operacional, el Adjudicatario será responsable de cumplir con las exigencias especificadas en este documento.

El proceso de Gestión del Riesgo seguido para la adquisición de **nuevos sistemas técnicos** para su integración en el Sistema Ferroviario de FMB, deberá cumplir con las exigencias de:

- La norma UNE-EN 50126-1. Aplicaciones Ferroviarias, Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS).
- La norma UNE-EN 50126-2. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 2: Aproximación sistemática para la seguridad.

En función del sistema, serán de aplicación o referencia las siguientes normas:

- UNE-EN 50128. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección de ferrocarril.
- UNE-EN 50129 Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización.

Todas las Normas serán considerados en la versión vigente, en su última publicación a la fecha de adjudicación del contrato.

El proceso a realizar aplica a todo el sistema en su conjunto (todos los subsistemas que integran el sistema, los interfaces entre los distintos subsistemas, etc.) y los interfaces que resulten aplicables entre el sistema licitado y el Sistema Ferroviario de FMB.

Se deberá además considerar su ciclo de vida completo (diseño, fabricación, validación, operación, mantenimiento, etc.), como se define en la norma UNE-EN 50126

Asimismo, en el caso de que el sistema técnico implemente funciones de seguridad superiores al SILO, se deberá aportar el correspondiente ISA. En el caso que el sistema técnico licitado integre distintas funciones avaladas por los distintos subsistemas, deberá entregarse, aparte de cada uno de los ISA's de Subsistema, un ISA global que avale la integración del sistema.

FMB deberá aceptar al Organismo de Evaluación Independiente de Seguridad (ISA y/o ASBO según aplique) propuesto por el Adjudicatario. Asimismo, el Organismo de Evaluación Independiente de Seguridad deberá ser un Organismo Acreditado a tal efecto.

4.2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los documentos siguientes son de aplicación en el marco de esta licitación.

[REF01] UNE-EN 50126-1. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 1: Requisitos básicos y procesos genéricos.

[REF02] UNE-EN 50126-2. Aplicaciones ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 2: Aproximación sistemática para la seguridad.

[REF03] UNE-EN 50128. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección de ferrocarril.

[REF04] UNE-EN 50129. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Sistemas electrónicos relacionados con la seguridad para la señalización.

[REF05] UNE-EN 50155. Aplicaciones ferroviarias. Equipos electrónicos utilizados sobre material rodante.

[REF06] UNE-EN 50657. Aplicaciones ferroviarias. Aplicaciones del material rodante. Software a bordo del material rodante.

[REF07] UNE-EN 50562. Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Proceso, medidas de protección y demostración de la seguridad para los sistemas eléctricos de tracción.

[REF08] UNE-EN 50159. Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento.

[REF09] UNE-EN 61508 Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/ electrónicos programables relacionados con la seguridad.

[REF10] UNE-EN 14033 Aplicaciones ferroviarias. Vía. Máquinas para la construcción y el mantenimiento que se desplazan exclusivamente sobre carriles. Parte 1: Requisitos técnicos para la circulación; Parte 2: Requisitos técnicos para el trabajo; Parte 3: Requisitos generales de seguridad.

[REF11] Reglamento de Ejecución (UE) nº 402/2013 de la Comisión, de 30 de abril de 2013, relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 352/2009.

[REF12] Reglamento de Ejecución (UE) 2015/1136 de la Comisión, de 13 de julio de 2015, por el que se modifica el Reglamento de Ejecución (UE) nº 402/2013 relativo a la adopción de un método común de seguridad para la evaluación y valoración del riesgo.

4.3 OBJETIVOS DE SEGURIDAD FERROVIARIA Y ACEPTACIÓN DE LOS RIESGOS

El proceso para la evaluación de riesgos será el identificado en la norma UNE EN 50126-1.

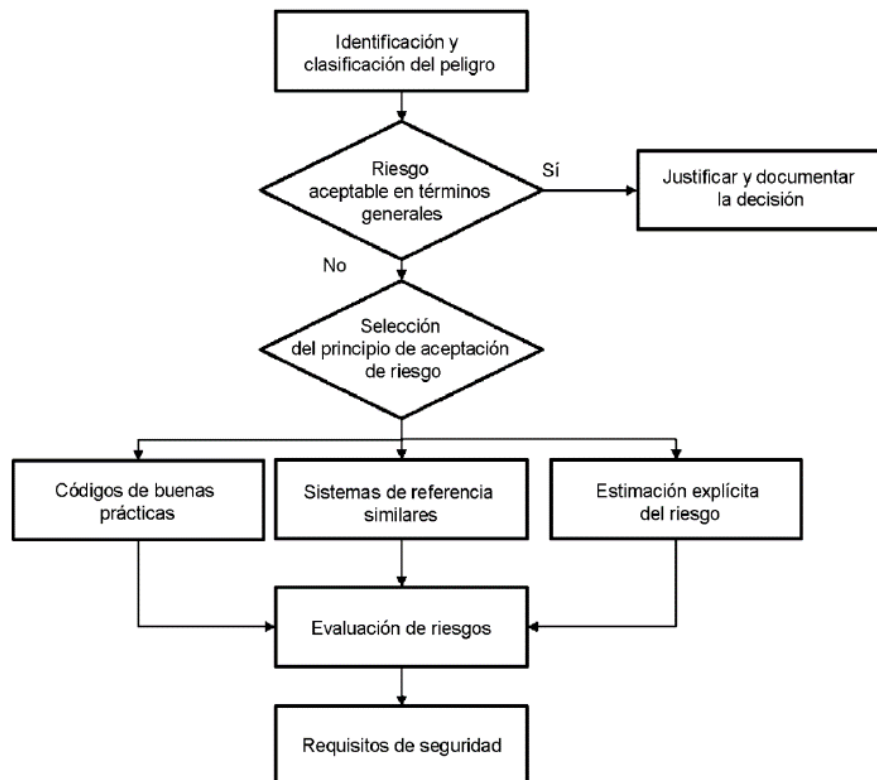


FIGURA 1: PROCESO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

Este proceso se realizará en conformidad con las prescripciones definidas en los siguientes apartados.

4.3.1 Clasificación de los Riesgos

A continuación, se presenta una asignación de niveles SIL (Safety Integrity Level) para los principales sistemas y equipos del tren, en función de su criticidad en la gestión del riesgo ferroviario. Esta tabla actúa como base para la posterior clasificación de riesgos y justificación del diseño seguro en los apartados siguientes.

Equipo / Sistema	Nivel SIL Propuesto
Sistema de frenado de emergencia	SIL 2
Freno de estacionamiento	SIL 2
Orden cierre de puertas	SIL 2
Caja negra (velocidad, distancia recorrida, gestión/generación de las señales de 45 m y 100 m,...)	SIL 2
Detección de obstáculos y antidrag	SIL 2

La clasificación de los riesgos se realizará según lo establece norma UNE EN 50126-1, por la combinación de dos criterios:

- La probabilidad de ocurrencia de un suceso o una combinación de sucesos que conduzcan a un peligro, o la frecuencia de tal ocurrencia.
- La consecuencia del peligro, es decir su gravedad.

Una vez identificado un riesgo debe evaluarse su frecuencia de ocurrencia. A modo de ejemplo, las técnicas a utilizar para conseguir una buena aproximación son:

- Datos procedentes de los incidentes acaecidos históricamente en el sector ferroviario, en explotaciones metropolitanas. A partir de los registros disponibles, se establecen, cuantitativamente, tasas de frecuencia para un determinado peligro.
- Análisis por árbol de fallos o eventos. Este tipo de aproximación permite establecer una aproximación cuantitativa de peligros para los que no se dispone de datos históricos.
- Juicio experto. No siempre será posible establecer criterios cuantitativos a la hora de clasificar la frecuencia de un peligro. Cuando se aplican valoraciones basadas en la opinión experta, se

tendrá en cuenta, bien de manera informal o mediante sesiones de brainstorming, la opinión de varios expertos.

4.3.1.1 Frecuencia de ocurrencia

A continuación, se definen los criterios cualitativos y cuantitativos para la estimación de frecuencia.

Análisis cualitativos. Se establecen seis categorías de frecuencia que son las siguientes:

Nivel de frecuencia	Descripción
Frecuente	Es probable que ocurra con frecuencia.
	La incidencia se experimentará frecuentemente.
Probable	Ocurrirá varias veces.
	Se puede esperar que la incidencia ocurra con frecuencia
Ocasionalmente	Es probable que ocurra varias veces.
	Se puede esperar que la incidencia ocurra varias veces.
Infrecuente	Es probable que ocurra en algún momento del ciclo de vida del sistema.
	Puede esperarse razonablemente que ocurra la incidencia.
Improbable	Es poco probable que ocurra, pero es posible.
	Se puede suponer que la incidencia puede ocurrir de forma excepcional.
Extremadamente improbable	Muy improbable que ocurra.
	Se puede asumir que la incidencia no ocurrirá.

TABLA 1: NIVELES DE FRECUENCIA

Análisis cuantitativos. En aquellos casos que se disponga de datos históricos del Adjudicatario o provenientes de otras fuentes que permitan una clasificación cuantitativa se toman en consideración los siguientes rangos (las fuentes deberán ser justificadas y evidenciadas para la aceptación por parte de FMB):

Nivel de frecuencia	Gama de frecuencias para funcionamiento 24 h/día	Gama de frecuencias para una vida útil de 30 años y funcionamiento 5.000 h/año
Frecuente	más de una vez en un período de aproximadamente 6 semanas	más de 150 veces
Probable	aproximadamente de una vez cada 6 semanas a una vez al año	aproximadamente de 15 a 150 veces
Ocasionalmente	aproximadamente de una vez al año a una vez cada 10 años	aproximadamente de 2 a 15 veces
Infrecuente	aproximadamente una vez cada 10 años o una vez cada 1 000 años	puede que una vez como máximo
Improbable	aproximadamente de una vez cada 1.000 años a una vez cada 100 000 años	no se espera que suceda en el curso de la vida útil
Extremadamente improbable	una vez en un período de aproximadamente 100 000 años o más	es extremadamente improbable que ocurra en el curso de la vida útil

TABLA 2: RANGOS CUANTITATIVOS DE FRECUENCIA

4.3.1.2 Gravedad de las consecuencias

El segundo parámetro para evaluar un riesgo es la estimación de las consecuencias derivadas del mismo. Las cuatro categorías serán las siguientes:

Categoría de gravedad	Consecuencias para las personas o el entorno	Consecuencias para el servicio/bienes materiales
Catastrófico	- Afecta a un gran número de personas y tiene como resultado múltiples víctimas mortales, y/o - Daña al entorno de forma extrema.	Cualquiera de las consecuencias que se describen a continuación para las personas o el entorno
Crítico	- Afecta a un número muy pequeño de personas y resulta en al menos una víctima mortal, y/o - Se produce un gran daño al entorno	Pérdida de un sistema importante
Marginal	- No hay posibilidad de que se produzcan víctimas mortales, solo lesiones graves o leves, y/o - Daños menores al entorno	Daños graves en el sistema o sistemas.
Insignificante	Posible lesión leve	Daños menores al sistema

TABLA 3: CATEGORÍAS DE GRAVEDAD DE INCIDENTES

Se tomarán en consideración las consecuencias para el servicio para poder establecer requisitos de fiabilidad/disponibilidad para subsistemas que, si bien no afectan a la seguridad ferroviaria, si alteran las condiciones del servicio de forma significativa.

4.3.1.3 Matriz para la clasificación de riesgos

Para cada peligro identificado y en función de su probabilidad de ocurrencia y las consecuencias derivadas del mismo, se establece la siguiente matriz de riesgos:

Frecuencia de ocurrencia de un accidente (causado por un peligro)		Categorías de aceptación del riesgo		
Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable
Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
Infrecuente	Despreciable	Tolerable	No deseable	No deseable
Improbable	Despreciable	Despreciable	Tolerable	No deseable
Extremadamente improbable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Tolerable
	Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico
	Gravedad de un accidente (causado por un peligro)			

TABLA 4: MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE RIESGOS

4.3.1.4 Determinación del nivel de riesgo

Una vez que se hayan categorizado los riesgos según la matriz anterior, se ha de proceder según la tabla siguiente:

Categoría de aceptación de riesgos	Acciones a aplicar
Intolerable	El riesgo debe eliminarse
No deseable	El riesgo solo debe aceptarse si su reducción es impracticable y previo acuerdo con los responsables del servicio ferroviario o con la autoridad en materia de seguridad responsable.

Tolerable	El riesgo puede tolerarse y aceptarse con un control adecuado (por ejemplo, procedimientos o normas de mantenimiento) y previo acuerdo con los responsables del servicio ferroviario.
Despreciable	El riesgo es aceptable sin acuerdo previo con los responsables del servicio ferroviario.

TABLA 5: CATEGORÍAS DE ACEPTACIÓN DE RIESGOS

FMB no aceptará ningún riesgo con clasificación final superior a TOLERABLE.

4.3.2 Aceptación de la Seguridad ferroviaria

Los principios de aceptación aplicables a la evaluación de riesgos para justificar la reducción de riesgos a niveles tolerables serán los siguientes:

4.3.2.1 Códigos prácticos

La normativa o buenas prácticas utilizadas para justificar que los peligros están debidamente mitigados, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser aplicable explícita (normativa CENELEC para aplicaciones ferroviarias o fichas UIC, por ejemplo) o implícitamente al ámbito ferroviario.
- Ser pertinente para el control de los peligros considerados en el sistema objeto de evaluación.
- Estar disponible públicamente para todos los interesados en su empleo.

Cuando se utilice este principio, se considerará que los peligros asociados tienen un nivel de riesgo residual “Tolerable”, sin necesidad de realizar estudios adicionales relativos al peligro, y se dejará constancia en el Registro de Peligros que el código práctico utilizado es un requisito de seguridad ferroviaria.

Para estos peligros, se deberá evidenciar suficientemente el cumplimiento del código práctico utilizado y dejar constancia de ello en el Registro de Peligros.

4.3.2.2 Comparación con sistemas similares

Este criterio supone utilizar otro sistema en explotación como referencia para justificar el nivel de riesgo final. El sistema de referencia deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Haber acreditado un nivel aceptable de seguridad ferroviaria.
- Tener funciones e interfaces equivalentes al sistema evaluado.
- Utilizarse en condiciones de explotación y ambientales equiparables.

Al igual que en el caso anterior, cuando se utilice este criterio se considerará que los peligros asociados tienen un nivel de riesgo “Tolerable” sin necesidad de realizar estudios adicionales. Los requisitos de seguridad ferroviaria podrán quedar fijados a partir de los requisitos de seguridad ferroviaria del sistema de referencia y quedarán registrados en el Registro de Peligros.

En caso de existir diferencias entre el sistema objeto de la evaluación y el sistema de referencia, se deberá justificar que el sistema evaluado ofrece, al menos, el mismo nivel de seguridad ferroviaria, para lo cual se usará alguno de los otros dos principios de aceptación del riesgo.

4.3.2.3 Estimación explícita del riesgo

En los casos en que no sea aplicable ninguno de los dos criterios anteriores, se llevará a cabo una valoración explícita (cualitativa o cuantitativa) del riesgo, para lo cual se cumplirán los siguientes requisitos:

- Los métodos utilizados deberán reflejar correctamente el sistema evaluado y sus parámetros, considerando todos los modos de explotación.
- Los resultados deberán ser suficientemente precisos para justificar la decisión, esto es, no es admisible que, pequeños cambios en las hipótesis alteren significativamente los resultados.

Estos criterios serán sometidos a revisión por parte de FMB cuando se considere oportuno.

4.3.3 Listado de accidentes potenciales

El Adjudicatario deberá contemplar, como mínimo, en su análisis de riesgos, los peligros siguientes:

- a) Colisión entre vehículos ferroviarios o de éstos con la infraestructura.
- b) Descarrilo de vehículos ferroviarios.
- c) Atropello a personas.
- d) Incendio/Explosión originados en elementos de la infraestructura o en vehículos ferroviarios.
- e) Atrapamientos y arrastres.
- f) Electrocutión, radiación y otras situaciones ligadas a subsistemas eléctricos.
- g) Inundaciones.
- h) Situaciones de pánico entre los pasajeros.
- i) Otros daños a las personas.

En caso de identificarse/considerarse otros accidentes potenciales aplicables al sistema objeto del presente pliego, el Adjudicatario será responsable de completar la presente lista. Del mismo modo, en caso de considerar que alguno de estos peligros no aplica al sistema en objeto del presente pliego, el Adjudicatario deberá comunicarlo a al interlocutor designado por FMB para su aceptación.

4.4 ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE SEGURIDAD FERROVIARIA

La organización del Adjudicatario deberá incluir un Responsable de Seguridad ferroviaria del proyecto, que deberá poder justificar una experiencia previa suficiente en materia de gestión de la seguridad ferroviaria en el sector ferroviario.

El Responsable de Seguridad ferroviaria del Adjudicatario será el interlocutor con el interlocutor designado por FMB para los aspectos relacionados con la seguridad ferroviaria. Idealmente este interlocutor será único para facilitar los flujos de información. Dicho interlocutor deberá ser aceptado por FMB. En caso de que por necesidades del proyecto se requiriese cambiar de interlocutor o incrementar el número de interlocutores, el Adjudicatario deberá informar a FMB para su aceptación.

El Responsable de Seguridad ferroviaria deberá ser independiente de los equipos a cargo del Diseño, de la Fabricación y de las Pruebas. Asimismo, la organización del Adjudicatario deberá conformarse a los requisitos de independencia de la norma UNE EN 50126.

Para realizar sus tareas, el Responsable de Seguridad ferroviaria deberá contar con la autoridad y los medios suficientes. Cuando sea necesario, deberá estar apoyado por ingenieros especialistas de seguridad ferroviaria, quienes estarán directamente bajo su cargo. En caso de realizarse reuniones de trabajo entre el equipo de seguridad ferroviaria del Adjudicatario y FMB, el Responsable de Seguridad ferroviaria del proyecto (interlocutor válido para FMB) deberá estar presente para dar fe de los compromisos que pudiesen adquirirse por ambas partes. En caso de delegarse la interlocución, deberá comunicarse formalmente a FMB y deberá ser aceptado.

La organización del Adjudicatario para el desarrollo del proceso de seguridad ferroviaria deberá ser descrita en su plan de gestión de la seguridad ferroviaria, y asimismo deberá ser aprobada por parte de FMB.

4.5 ESTUDIOS Y DOCUMENTACIÓN DE SEGURIDAD FERROVIARIA PARA SISTEMAS NUEVOS

La documentación de Seguridad Ferroviaria que deberá entregar el Adjudicatario será, como mínimo, la identificada en este apartado. En caso de considerar que alguno de los siguientes documentos no aplica al proyecto, deberá ser argumentado y aceptado por FMB.

Asimismo, todos los documentos deberán realizarse y consolidarse siguiendo el orden marcado por el ciclo de vida del proyecto, según indica la norma UNE EN 50126. Los documentos consolidados deberán ser aceptados por FMB. La aceptación por parte de FMB no implica en ningún caso una validación formal o responsabilidad del contenido de dichos documentos. Por otro lado, la no aceptación de un documento implicará la reedición del documento por tal de satisfacer las necesidades de FMB. Para facilitar dicho proceso, el Adjudicatario podrá solicitar reuniones de seguimiento mediante borradores que permitan la correcta evolución y asegurar que los documentos consolidados entregados sean alineados con las necesidades de FMB.

Del mismo modo, se deberá cumplir con un proceso (definido por el Adjudicatario) de verificación. Dicho proceso deberá garantizar haber alcanzado los objetivos mínimos en materia de seguridad ferroviaria, marcados por la UNE EN 50126, para cada cambio de fase en el ciclo de vida, disponiendo de los documentos consolidados y aceptados para dar cumplimiento al proceso de verificación. El cambio de fase del ciclo de vida deberá ser informado a FMB. En caso de decisión por parte de proyecto de cambiar de fase con algún pendiente en materia de seguridad ferroviaria, deberá argumentarse la decisión y establecer el plan de acción. FMB deberá ser conocedor de dicha situación y aceptarla.

Todos los documentos serán entregados en catalán o castellano, en formato pdf firmado y, en los casos que se requiera (como el Hazard Log) en formato editable. Asimismo, en todos los documentos de seguridad ferroviaria que se entreguen varias versiones del mismo documento, se deberá entregar una versión consolidada y otra con control de cambios, a fin de facilitar el análisis de los cambios entre versiones.

4.5.1 Plan de Seguridad Ferroviaria

El Adjudicatario deberá elaborar el plan de Seguridad ferroviaria de acuerdo con la norma UNE EN 50126.

Dicho plan, como mínimo deberá contener y realizar especial énfasis en:

- Descripción preliminar del proyecto, estableciendo alcance y perfil de misión.
- Organización del proyecto, estableciendo los roles, responsabilidades de cada rol en relación a la Safety. También se incluirá un organigrama y justificación de que la organización cumple con los requisitos de independencia.
- Criterios para la evaluación y aceptación de riesgos.
- Identificación y Gestión de requisitos de seguridad ferroviaria.
- Actividades y entregables de Safety a realizar durante el proyecto. Descripción de cada uno de ellos, junto con la relación y objetivo de los mismos.

- Proceso de Verificación.
- Proceso de Validación.

El Adjudicatario entregará 3 meses después de la firma del contrato el Plan de Seguridad ferroviaria del proyecto.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 1 semana. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

Una vez aceptado el Plan de Seguridad ferroviaria, no se modificará más salvo modificación sustancial de la estrategia de seguridad ferroviaria, que justifique dicha actualización. Asimismo, previo a la actualización, deberá comunicarse el motivo del cambio a FMB para su aceptación.

4.5.2 Análisis Preliminar de Riesgos

Al inicio de la fase de Ingeniería del proyecto, el Adjudicatario deberá realizar y entregar a FMB un Análisis Preliminar de Riesgos (APR).

El APR deberá identificar los riesgos del sistema objeto del presente pliego siguiendo una estrategia “top-down” con el objetivo de identificar las situaciones peligrosas que puedan ocasionar un accidente. Para ello el Adjudicatario deberá utilizar las metodologías a su alcance (Lista preliminar de Riesgos, proyectos de referencia, Brain Storming, etc). Los riesgos deberán identificar la metodología utilizada y, en caso de utilizarse una base de datos, identificar dicha fuente.

El APR incluirá de forma específica el sistema de frenado y las prestaciones funcionales, evaluando los escenarios de peligro y demostrando el cumplimiento de los requisitos de seguridad. En dicho análisis se considerarán, cuando aplique, sistemas de frenado adicionales.

El APR incluirá el escenario de avería del sistema de alarma de viajeros que impida al viajero iniciar la detención del tren al partir de andén, evaluando el riesgo (severidad ‘víctima mortal/herido grave’) y definiendo medidas de control y evidencias de verificación.

El APR incluirá el escenario de fallo del sistema de alarma de viajeros por el que, aun activándose la alarma, la información no llegue al personal a la conducción, evaluando el riesgo y definiendo medidas de control y evidencias de verificación

El APR incluirá el escenario de puerta no bloqueada/desbloqueada/abierta sin información correcta a cabina de conducción, o apertura en lado/condición inapropiada (incluida circulación), evaluando el

riesgo (severidad 'víctima mortal/herido grave') y definiendo medidas de control y evidencias de verificación.

El APR incluirá el escenario de varias puertas no bloqueadas/desbloqueadas/abiertas sin información correcta a cabina, o apertura en lado/condición inapropiada (incluida circulación), evaluando el riesgo y definiendo medidas de control y evidencias de verificación.

El APR incluirá el escenario de avería del sistema de apertura interior de emergencia en dos puertas adyacentes a lo largo de una ruta de evacuación, evaluando el riesgo y definiendo medidas de control y evidencias de verificación

La identificación de riesgos deberá consignar toda la información posible para el riesgo sea claro. Se deberá identificar las situaciones que pueden conducir al accidente, así como las causas potenciales y el modo de operación.

La evaluación de riesgos deberá realizarse siguiendo la clasificación de riesgos consignada en el presente pliego. El APR deberá contener la clasificación inicial sin contemplar ninguna mitigación.

Finalmente, para cada riesgo deberán identificarse los requisitos de seguridad ferroviaria que mitigan el riesgo. Dichos requisitos deberán definirse en función de la clasificación inicial del riesgo y con el objeto de que la clasificación final del riesgo (tras aplicar mitigaciones) quede en un nivel de aceptabilidad suficiente. Del mismo modo, los requisitos deberán orientarse inicialmente a requisitos de diseño, evitando, siempre que sea posible, las exportaciones a Operación y Mantenimiento.

La plantilla del APR, así como las metodologías de análisis deberán ser presentados a y aceptados por FMB previo al inicio del análisis. El Adjudicatario deberá entregar un APR en fase de proyecto. Dicho APR deberá contener la evaluación inicial de Amenazas. En caso de ser Adjudicatario del contrato, se deberá entregar una actualización del APR profundizando en amenazas de bajo nivel y estableciendo los requisitos de seguridad ferroviaria iniciales.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 2 semanas. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.3 Registro de Peligros (Hazard Log)

El Adjudicatario deberá elaborar y mantener un registro de peligros durante la vigencia del contrato.

El HL deberá ser una evolución del APR dónde se consignen las evidencias de mitigación establecidas en el APR.

Una vez consolidada la primera versión del HL, el APR quedará congelado y ya no se actualizará más, siendo el HL el único documento con el registro de peligros actualizado.

De esta forma, el HL contendrá:

- Todos los riesgos identificados para el proyecto.
- Todos los requisitos establecidos como mitigación trazados con las casusas que mitigan.
- La clasificación final de los riesgos.
- El principio de aceptación utilizado en cada riesgo.
- Las evidencias de cumplimiento de cada requisito junto con una trazabilidad clara, indicando documento y apartado en el que se encuentra la evidencia.
- El estatus (abierto, pendiente, cerrado para pruebas, cerrado para PeS) de cada riesgo junto.
 - Abierto: Riesgo identificado, pendiente establecer requisitos para alcanzar una clasificación de riesgos aceptable.
 - Pendiente: Se dispone de los requisitos, pero faltan sus evidencias.
 - Cerrado para pruebas: Se dispone de evidencias suficientes para entrar a pruebas dinámicas.
 - Cerrado para Puesta en Servicio (PeS): Se dispone de todas las evidencias, dando el riesgo por controlado totalmente.
- Un cuadro resumen con el total de riesgos y su estado.

La plantilla del HL deberá ser aceptada por FMB previo al desarrollo del HL.

Todos los documentos referenciados como evidencia de cierre de un riesgo deberán ser entregados a FMB por tal de poder mantener el HL vivo tras la finalización del contrato. Será responsabilidad del Adjudicatario poner a disposición de FMB dicha documentación, considerándose esta documentación incluida en la actividad del registro de peligros.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 3 semanas. Para la optimización del tiempo de revisión se podrá establecer una estrategia

conjunta con FMB que permita revisiones parciales. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.3.1 Registro de Peligros (Hazard Log): Exportaciones

Cuando sea requerido, el Adjudicatario podrá establecer exportaciones al Operador y Mantenedor. Las exportaciones deberán ser recogidas en un documento a parte o como apartado específico del HL con la finalidad de poder trabajarlas de forma ágil con FMB.

Todas las exportaciones deberán identificar claramente el riesgo residual que debe ser cubierto por la SRAC. Se entenderá como riesgo residual aquella parte del riesgo que no haya podido ser mitigada por las mitigaciones bajo el control del Adjudicatario y que, por lo tanto, para que el riesgo quede totalmente mitigado se verá afectado por una SRAC.

Las exportaciones deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- Que NO vaya en contra de las condiciones técnicas y/o particulares descritas en el pliego que deberían ser cubiertas por el sistema.
- Que exista una clara trazabilidad y relación entre accidente / situación de peligro / escenario / evento desencadenante / causa / riesgo inicial / SRAC.
- Si el riesgo inicial asociado a una SRAC presenta un nivel de “Intolerable o No deseable”, deberá tener asociada en sus mitigaciones una función de seguridad del sistema técnico acorde al mismo.
- El riesgo asociado a una SRAC debe presentar un nivel de riesgo “Tolerable”, con una medida de reducción técnica que complete la exportación (no se aceptarán riesgos mitigados exclusivamente con exportaciones).
- Que la definición de la SRAC sea clara y completa. Describiendo qué hay que cumplir y evitar definir qué hay que hacer. La exportación ha de ser en forma de requisito diciendo qué, pero no como.

Asimismo, las SRAC's deberán cumplir con lo prescrito en la norma UNE EN50129, apartado 5.3.13.

Las exportaciones deberán ser trabajadas conjuntamente con FMB para garantizar que se cumplen las condiciones anteriormente descritas. Finalmente, deberán ser aceptadas por FMB.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de 1 semana, siempre que se establezca una estrategia conjunta que permita la consolidación de cada una de las exportaciones. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.4 Análisis de Modo de Fallos, de sus Efectos y Criticidad (AMFEC)

Una vez el Adjudicatario disponga de una primera versión de diseño consolidado, deberá realizar un AMFEC. Dicho análisis deberá realizarse para el sistema objeto del pliego, contemplando todos los elementos eléctricos/electrónicos a nivel LRU (Line Replazable Unit).

El AMFEC deberá contener todos los elementos, junto con sus modos de fallo, la tasa de fallo intrínseca, la tasa de fallos de cada modo de fallo y su afectación tanto a la seguridad ferroviaria como a la disponibilidad.

En caso de detectarse afectación, se consideraría modo de fallo simple con afectación a la seguridad ferroviaria o disponibilidad, haciendo necesario justificar las medidas de control necesarias para validar el diseño.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 3 semanas. Para la optimización del tiempo de revisión se podrá establecer una estrategia conjunta con FMB que permita revisiones parciales. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.5 Notas Técnicas de Seguridad

Para todos aquellos riesgos en los que se utilice el principio de aceptación de riesgo de estimación explícita y por lo tanto se deba argumentar la robustez del diseño, se realizará una nota técnica de seguridad.

Esta Nota técnica de seguridad deberá incluir, como mínimo:

- Descripción funcional del subsistema afectado.
- Descripción de la implementación de la función.
- Argumentación cualitativa de la robustez del diseño.
- Argumentación cuantitativa de la robustez del diseño (deberá acompañarse de un FTA que evidencie el cálculo cuantitativo).

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 2 semanas por Nota Técnica. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.6 Lista de Elementos Críticos para la Seguridad Ferroviaria (LECS)

El Adjudicatario deberá realizar una LECS. Dicho documento deberá contener un criterio claro de elección de elementos críticos para la seguridad ferroviaria, contemplando en dicho listado todos aquellos elementos, a nivel LRU, que, en aplicación de dicho criterio se consideren especialmente susceptibles a la seguridad ferroviaria y por lo tanto requieran de una consideración especial en el Mantenimiento.

Estos elementos conformarán una entrada fundamental para el Mantenedor, que deberá considerar dichos elementos como recambios críticos, considerando las periodicidades, recambios y operaciones de mantenimiento como críticos para la seguridad ferroviaria.

El criterio utilizado para establecer los elementos críticos para la seguridad ferroviaria deberá ser aceptado por FMB previo a la elaboración del documento.

Asimismo, este documento deberá ser aceptado tanto por FMB (considerando también al Mantenedor de FMB afectado). En caso de identificarse un elemento crítico que no pueda ser aceptado por el Mantenedor, se deberá establecer medidas adicionales de diseño/mantenimiento que permitan eliminar dichos componentes de la lista.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 2 semanas. Para la optimización del tiempo de revisión se podrá establecer una estrategia conjunta con FMB que permita revisiones parciales. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.7 Informe de Verificación

A la finalización de la fase 6 y fase 10 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126, el Adjudicatario deberá entregar el Informe de Verificación.

Dicho informe deberá evidenciar el cumplimiento de todos los requisitos del proceso de Seguridad ferroviaria, así como de los requisitos de procesos relacionados (diseño, calidad, etc.) en cada cambio de fase de ciclo de vida. Dichos requisitos de proceso deberán estar alineados con lo definido en la norma la UNE EN 50126.

En el supuesto que haya habido algún incumplimiento de requisitos de proceso, así como algún pendiente o cualquier decisión destacable del proceso que afecte a la verificación, deberá quedar reflejado en dicho informe, junto con las medidas adoptadas que justifiquen el cambio de fase del ciclo de vida, con estas salvedades.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 1 semana. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.8 Informe de Validación

A la finalización de la fase 10 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126, el Adjudicatario deberá entregar el Informe de Validación.

Dicho informe deberá evidenciar el cumplimiento de todos los requisitos de diseño, con especial énfasis en los requisitos de Seguridad ferroviaria. La trazabilidad entre requisitos de seguridad ferroviaria y casos de prueba deberá ser clara, incluyendo el resultado de dicha prueba.

En el supuesto que haya habido alguna prueba relacionada con algún requisito de Seguridad ferroviaria pendiente, No OK o con comentarios, el informe deberá contener el plan de acción y la argumentación que permita justificar identificar de forma clara si el resultado de la prueba compromete o no la seguridad ferroviaria del sistema y si condiciona la puesta en servicio.

Del mismo modo, en el caso de identificarse algún No OK en los casos de prueba relacionados con requisitos de diseño que no sean de Seguridad ferroviaria, deberá recogerse en el informe identificando de forma clara el impacto de incumplimiento de dicho requisito, el plan de acción y si condicionan la puesta en servicio del sistema.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 2 semanas. Para la optimización del tiempo de revisión se podrá establecer una estrategia conjunta con FMB que permita revisiones parciales. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

NOTA: El Adjudicatario deberá entregar todos los informes de validación realizados para cada unidad del sistema técnico.

4.5.9 Safety Case Diseño

A la finalización de la Fase 6 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126, el Adjudicatario deberá elaborar el Safety Case de Diseño. Este documento deberá respetar el índice marcado por la norma UNE EN 50129.

Asimismo, este documento deberá incluir un resumen de todas las actividades de Seguridad ferroviaria realizadas a lo largo del proyecto y hasta la fecha de emisión del documento, identificando claramente si hay desviaciones en la estrategia de seguridad, respecto lo definido en el plan de Seguridad ferroviaria. También, deberá identificar cualquier punto destacable en materia de seguridad ferroviaria (incluyendo Verificación y Validación) que afecte al proyecto.

Finalmente, las conclusiones deberán incluir una mención explícita sobre si el proyecto tiene un grado de madurez suficiente como para iniciar las pruebas dinámicas con seguridad.

Una vez el Safety Case de diseño esté consolidado se iniciarán las Pruebas dinámicas, no se actualizará más salvo afectación drástica en la seguridad ferroviaria que condicione a las pruebas dinámicas. Dicha modificación deberá ser justificada y aceptada por FMB.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 1 semana. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.10 Safety Case de la puesta en servicio (PeS)

A la finalización de la Fase 10 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126, el Adjudicatario deberá elaborar el Safety Case de PeS. Este documento deberá respetar el índice marcado por la norma UNE EN 50129.

Este documento deberá ser una evolución del Safety Case de Diseño. Deberá actualizar las actividades de seguridad ferroviaria realizadas hasta la fecha de publicación del documento, identificando claramente si hay desviaciones en la estrategia de seguridad ferroviaria, respecto lo definido en el plan de Seguridad ferroviaria y el estado de madurez del sistema para la puesta en servicio cumpliendo con los requisitos de seguridad ferroviaria. Asimismo, deberá identificar cualquier punto destacable en materia de seguridad ferroviaria (incluyendo Verificación y Validación) que afecte al proyecto.

Finalmente, las conclusiones deberán incluir una mención explícita sobre si el proyecto tiene un grado de madurez suficiente como para autorizar la PeS. Asimismo, el Safety Case deberá establecer las

condiciones necesarias para mantener el sistema en estado seguro tras la puesta en servicio y desde la finalización del contrato hasta la fase 13 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126.

En caso de valorarse la PeS del sistema, pero identificarse modificaciones pendientes, el Safety Case deberá incluir la estrategia a seguir para implementar dichas modificaciones manteniendo la seguridad del sistema, diferenciando claramente la gestión de modificaciones con afectación a la seguridad ferroviaria y las modificaciones sin afectación a la seguridad ferroviaria (la estrategia debe establecer cómo evidenciar la afectación o no a la seguridad ferroviaria, de las modificaciones). De la misma forma, durante la duración del contrato, el Safety Case deberá ser actualizado para reflejar en todo momento la seguridad ferroviaria del sistema puesto en servicio. De igual modo, el Adjudicatario, durante la vigencia del contrato, será el responsable de generar la documentación necesaria para evidenciar la no regresión en seguridad ferroviaria de dichas modificaciones. La estrategia de seguridad ferroviaria para las modificaciones deberá ser aceptada por FMB.

Además, el Safety Case deberá contemplar la posibilidad de realizar modificaciones en el sistema por parte de FMB tras la finalización del contrato. Estas modificaciones se realizarán siempre de acuerdo con la norma UNE EN 50126 y/o Reglamento 402/2013 y bajo la responsabilidad de FMB, acotando el alcance de la responsabilidad de la seguridad ferroviaria del sistema exclusivamente a la modificación (no a todo el sistema por haber realizado una modificación). No se aceptará en ningún caso una condición que implique que cualquier cambio o modificación invalida TODO el documento o sus conclusiones.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 1 semana. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

4.5.11 Informe de Evaluación y Certificado ISA

Con la entrega de cada Safety Case, el Adjudicatario deberá entregar un informe ISA. Este informe ISA deberá avalar el proceso de seguridad ferroviaria seguido y así certificar las funciones de seguridad del sistema completo.

El ISA de diseño deberá contener una conclusión clara sobre la seguridad ferroviaria del sistema para la realización de pruebas dinámicas. El ISA de Puesta en Servicio (PeS) deberá contener una conclusión clara sobre la seguridad ferroviaria del sistema y sus funciones de seguridad para la PeS del sistema.

FMB tendrá potestad para contactar con ISA del Adjudicatario siempre que lo estime oportuno. Asimismo, en caso de requerirse, tendrá acceso al registro de observaciones realizado durante el proceso de evaluación del ISA.

En el caso de que el sistema integre distintos subsistemas que dispongan de certificado propio, se considerará fuera del alcance la certificación de dichas funciones, tomando los certificados de subsistema como válidos. El Adjudicatario deberá entregar el informe del sistema dónde se avalará la integración de todos los subsistemas, garantizando su integración segura y que, en su conjunto, el sistema mantiene las funciones de seguridad certificadas por los subsistemas. Por lo tanto, el informe deberá incluir TODAS las funciones de seguridad y certificarlas (sea por certificar su desarrollo con el sistema, sea por referencia a certificados de subsistema).

Asimismo, el Adjudicatario deberá entregar un certificado que certifique TODAS las funciones de seguridad implementadas por el sistema. Dicho certificado deberá contener, como mínimo, las funciones de seguridad y el SIL certificado.

Puesto que una de las funciones del evaluador es acreditar el correcto proceso de seguridad ferroviaria seguido por el Adjudicatario, el ISA deberá trabajar en paralelo al desarrollo de proyecto, debiendo entregarse el informe ISA en un plazo no superior a 10 días desde la entrega del Safety Case consolidado.

Durante la duración del contrato, el Informe ISA de PeS deberá acreditar en todo momento el sistema puesto en servicio. En caso de realizarse modificaciones del sistema durante la vigencia del contrato, el Informe deberá actualizarse para incluir dichas modificaciones.

Igual que el Safety Case, el Informe ISA deberá avalar la seguridad ferroviaria del sistema, tomando en consideración el cumplimiento de las exportaciones, para su uso hasta la fase 13 del ciclo de vida identificado en la norma UNE EN 50126.

Además, el Informe ISA deberá contemplar la posibilidad de realizar modificaciones en el sistema por parte de FMB tras la finalización del contrato. Estas modificaciones se realizarán siempre de acuerdo con la norma UNE EN 50126 y/o reglamento 402/2013 bajo la responsabilidad de FMB, acotando el alcance de la responsabilidad de la seguridad ferroviaria del sistema exclusivamente a la modificación (no a todo el sistema por haber realizado una modificación). No se aceptará en ningún caso una condición que implique que cualquier cambio o modificación invalida TODO el documento o sus conclusiones.

Finalmente, en el caso que se considere la contratación de un AsBO integrador por parte de FMB, éste podrá solicitar cualquier información que requiera, teniendo trato directo con el ISA del proyecto, por tal de facilitar su evaluación.

El tiempo estimado de revisión por parte de FMB para la aceptación de este documento es de, como mínimo, 3 días laborables. El Adjudicatario deberá contemplar dicho tiempo de revisión en la planificación de proyecto.

5. CIBERSEGURIDAD FERROVIARIA

Para garantizar que el sistema licitado cumpla los estándares de ciberseguridad requeridos en el entorno OT ferroviario, FMB establece los requisitos mínimos obligatorios que el Adjudicatario deberá implementar. Estos requisitos aseguran la coherencia con la SGSI de FMB y la protección adecuada de un servicio esencial.

El Adjudicatario será responsable de acreditar su cumplimiento.

5.1 NORMATIVA APLICABLE

El proceso de gestión de la ciberseguridad del proyecto deberá cumplir con:

- ISO/IEC 27001 (o ENS nivel alto).
- Directiva NIS2 (UE) 2022/2555.
- Reglamento General Europeo de Protección de Datos (RGPD).
- Cybersecurity Resilience Act (CRA) – Regulació 2024/2847.
- Normas UNE-EN IEC 62443 y EN 50701 para el sector ferroviario.
- Normativas internas de FMB (NTOTIC) aplicables.

Todas las Normas serán consideradas en la versión vigente, en su última publicación en la fecha de adjudicación del contrato.

Este proceso se aplica a todo el sistema en conjunto y a las interfaces que resulten aplicables entre el sistema licitado y el Sistema Ferroviario de FMB.

Además, hay que considerar la ciberseguridad en el contexto del proceso del ciclo de vida de la norma EN 50126-1 RAMS.

5.2 REQUISITOS GENERALES

El proveedor deberá nombrar a un Responsable de Ciberseguridad que sea el interlocutor con el responsable de Ciberseguridad del Operador. El responsable de Ciberseguridad del proveedor velará por el control continuo y liderazgo a lo largo de todo el ciclo de vida de la licitación (independientemente si hay diferentes fases) con el fin de garantizar que se cumplan los niveles de seguridad requeridos.

Se realizarán reuniones periódicas con Responsables de Ciberseguridad de FMB con el fin de hacer evaluaciones, seguimiento de medidas a implementar, gestión de riesgos, implantación de políticas entre otras.

1. El Adjudicatario deberá garantizar un cumplimiento continuo y verificable de la política de ciberseguridad de FMB durante todo el ciclo de vida del sistema.
2. Realizar un análisis de riesgos preliminar de ciberseguridad, basándose en la nota técnica NTOTIC_011_MAPA DE RIESGOS OT+IICC.

Identificando escenarios de consecuencia que puedan involucrar o afectar de alguna manera a los sistemas objeto de este pliego.

3. La solución propuesta deberá cumplir con el nivel de seguridad requerido durante todo el ciclo de vida del sistema con pruebas locales y remotas.
4. Se realizarán auditorías de seguridad periódicas por parte de un tercero independiente, para evaluar el cumplimiento de los requisitos de seguridad, identificar posibles deficiencias y recomendar mejoras
5. Toda comunicación debe ser segura (utilizando protocolos seguros y aceptados). Toda comunicación no segura se tratará como excepción y deberá solicitarse, revisarse y aprobarse por parte de FMB.
6. Gestión de vulnerabilidades y pegatinas: El Adjudicatario deberá implantar un proceso formal de gestión de vulnerabilidades basado en la identificación, análisis, priorización, aplicación de parches, mitigación y verificación, de conformidad con las mejores prácticas OT y las fuentes de vulnerabilidades reconocidas del sector.

Se deberán definir SLA de enmienda según gravedad (crítica, alta, media y baja), mantener un entorno de preproducción obligatorio para validar todas las actualizaciones, establecer medidas compensatorias cuando no sea viable aplicar un parche y proporcionar evidencias de todas las actuaciones realizadas.

El Adjudicatario deberá indicar de manera explícita el periodo durante el cual se compromete a generar y suministrar parches de seguridad para:

- el sistema operativo.
- el software propio.
- el software de terceros integrado.
- y cualquier componente digital necesario para el funcionamiento del sistema licitado.

Este periodo no podrá ser inferior al ciclo de vida contractual y deberá incluir la comunicación previa de los plazos de EOL/EOS y la propuesta de medidas o actualizaciones equivalentes.

7. Los sistemas deberán contar con una solución (programa) antimalware, EDR. Gestión de excepciones del sistema EDR:
 - Las excepciones sólo se podrán definir cuando sean imprescindibles para asegurar la operación correcta de un proceso esencial del sistema OT.
 - Se deberán minimizar y limitar al máximo, priorizando mecanismos de exclusión específicos como el hash del binario.
 - No se aceptarán exclusiones amplias (carpetas completas, procesos genéricos o desactivación de funciones de detección).
 - El Adjudicatario deberá presentar un informe justificativo para cada excepción, con análisis de riesgo y pruebas en preproducción.
 - Ninguna excepción podrá aplicarse sin aprobación previa y por escrito de FMB.
 - Todas las excepciones deberán ser revisadas anualmente o después de actualizaciones.
8. Gestión de accesos y privilegios: Establecer políticas y procedimientos para la gestión segura de accesos y privilegios, incluyendo la revisión regular de los derechos de acceso y la aplicación de principios de menor privilegio.
9. Protección de datos personales: Si procede, habrá que establecer medidas para garantizar la protección de datos personales, incluyendo el cifrado de datos sensibles, la minimización de datos y el cumplimiento de regulaciones de privacidad como el GDPR.
10. Autenticación y control de acceso: En su caso, el sistema de control deberá integrarse con Directorio Activo OT para poder gestionar cuentas de usuarios (añadir, eliminar, modificar o desactivar) estableciendo condiciones para pertenecer a un grupo y asignar autorizaciones. Así como la capacidad de admitir la gestión de los identificadores (permitiendo operar dentro de un dominio o zona de control específico del sistema) por usuario, grupo, rol o interfaz del sistema de control.
11. Monitorización continua y registro de eventos: Especificar la implementación de herramientas de monitorización de seguridad y registro de eventos para detectar y registrar actividades sospechosas, así como para facilitar la respuesta a incidentes de seguridad. En el ámbito de Material Móvil se podrá considerar cumplido este requisito mediante una solución IDS dedicada o bien mediante funcionalidades equivalentes integradas en elementos de seguridad embarcados,

tales como NGFW, gateways de comunicaciones o plataformas específicas de seguridad ferroviaria, siempre que proporcionen capacidades de detección de anomalías, monitorización de eventos de seguridad y soporte a la misma.

12. Respuesta a incidentes de seguridad: Especificar la disponibilidad de un equipo de respuesta a incidentes de seguridad dedicado, que pueda proporcionar asistencia inmediata en caso de que se detecte una vulnerabilidad o incidente de seguridad al sistema.
13. Se deberá presentar un plan para gestionar la seguridad de la cadena de suministro.

5.3 REQUISITOS PARA LA FASE DE PROYECTO

1. Realizar una propuesta de arquitectura de Seguridad inicial identificando soluciones de seguridad que se podrían utilizar para mitigar los riesgos identificados:
 - Identificar las zonas de seguridad y los conductos
 - Mecanismos de seguridad a aplicar entre zonas
 - Tabla de comunicación: identificando flujo de datos permitido entre zonas, y las reglas a establecer en los conductos para restringir el encaminamiento de la red
 - El diseño y la implementación de las redes deberá garantizar la segregación entre los sistemas operacionales críticos y los de menor criticidad, basándose en los requisitos de la norma ferroviaria
 - Hay que garantizar la segregación entre el entorno OT y el entorno IT, para asegurar la seguridad perimetral de la red operacional, mediante un filtrado robusto del tráfico entrante y saliendo entre las diferentes zonas. La red operativa debe separarse de la no operativa mediante un diodo de datos (cuando los datos sólo salgan de la red operativa) o una zona desmilitarizada (DMZ) cuando sea necesario comunicación bidireccional
 - Las máquinas para la explotación de datos se alojarán en una zona específica, fuera de la red crítica
 - En caso de requerir máquinas de salto, se ubicarán en una zona específica. Hay que habilitar equipos host bastionado como servidor de salto
 - La comunicación y las interacciones humanas en las zonas de alta criticidad deben supervisarse, registrarse y almacenarse con fines forenses al menos en los límites del subsistema (véase también EN IEC 62443-3-3 / SR 2.8)
 - El responsable de la zona de criticidad superior debe gestionar los dispositivos de seguridad entre zonas de criticidad diferente que protegen su zona (véase también EN IEC 62443-3-2, ZCR 3.1)
 - La zona de criticidad superior debe considerar las entradas de la zona de seguridad inferior como potencialmente hostiles

- El acceso directo (de mantenimiento) no debe permitirse desde las zonas de negocio a las zonas de control sin control mediante un dispositivo de seguridad o similar (por ejemplo, un servidor intermediario)
- El acceso de mantenimiento externo debe agruparse en una zona separada
- El diseño deberá asegurar la disponibilidad del sistema (redundancia)

En resumen, la arquitectura a definir deberá basarse en el modelo que recoge IEC62443/TS50701, identificando todas las zonas de Seguridad y conductos, así como los mecanismos de Seguridad a aplicar entre zonas.

2. Realizar un análisis de riesgos detallado para cada activo y zona identificado, donde se determine por **vector** los niveles de seguridad objetivo (SL-T) y los niveles de seguridad alcanzados (SL-A), antes de traspasar los riesgos residuales a FMB.

Inicialmente, y sin disponer del análisis vector detallado de la solución prevista por el Adjudicatario, el nivel de seguridad para sistemas críticos de negocio será **SL3**.

3. La solución (ya sea programa, desarrollo o instalación de cualquier sistema, subsistema, componente, creación de reglas, etc.) deberá basarse en los principios de: mínimo privilegio, confianza cero y defensa en profundidad.
4. Se deberá entregar las guías de bastionado de todos los equipos, cuando corresponda.

Se seguirán guías del CCN-STIC relativas a la configuración segura. Se documentará la configuración que se aplicará en base a la guía y se justificará las configuraciones que no se apliquen o bien se aplicarán las herramientas de bastionado proporcionadas por el CCN. Antes de aplicar cualquier configuración que no se considere segura, ésta deberá estar aprobada por FMB.

Aplica tanto a las máquinas físicas como virtuales.

5. Deberá asegurar que los equipos y aplicaciones clasificadas como críticas generen Logs. Estos deberán ser custodiados de forma segura para evitar su modificación.
6. Se deben hacer pruebas FAT de las soluciones de seguridad antes de implementarse.

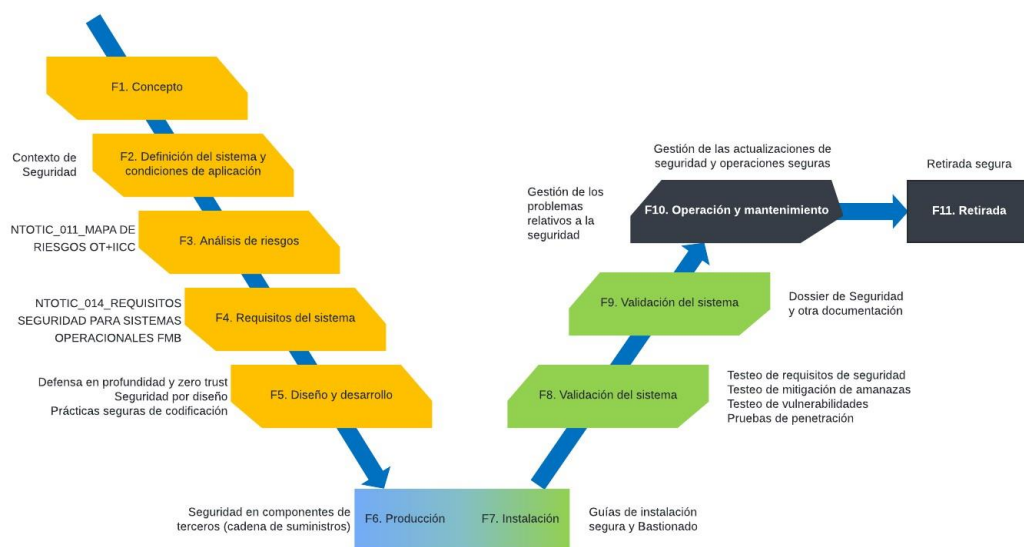
En su caso, FMB se reservará la aceptación final de la solución a los resultados de una auditoría de pruebas de penetración (pentesting) que deberá presentar el adjudicatario, pudiendo darse el caso de requerir certificarse en la norma 62443 4.2.

5.4 REQUISITOS PARA LA FASE DE APOYO Y GARANTÍA

Durante la fase de garantía el adjudicatario deberá:

1. Cumplimiento normativo continuo: Asegurar que la solución aportada, el sistema en conjunto y las operaciones de apoyo y mantenimiento continúen cumpliendo todas las normativas y estándares de seguridad relevantes durante producto la fase de garantía. El mantenedor del sistema debe garantizar que la seguridad no se vea degradada por sus actividades.

2. Actualizaciones de seguridad regulares: establecer un proceso para regular la actualización de software y hardware, y las actualizaciones de seguridad periódicas para abordar nuevas vulnerabilidades y amenazas de seguridad que puedan surgir durante el ciclo de vida del sistema.
3. Actualización y mantenimiento de software y sistemas operativos.
4. Se deberá actualizar y mantener planes de continuidad y recuperación ante desastres para asegurar la resiliencia operativa.
5. Auditorías de seguridad regulares: En su caso, requerir la realización de auditorías de seguridad periódicas por parte de un tercero independiente para evaluar el cumplimiento de los requisitos de seguridad, identificar posibles deficiencias y recomendar mejoras.
6. Soporte y recuperación de datos: Establecer procedimientos para hacer copias de seguridad periódicas de los datos críticos del sistema y garantizar la disponibilidad de mecanismos de recuperación de datos en caso de pérdida o corrupción de información. Realización de pruebas de restauración periódicas.
7. Capacitación en seguridad: Continuar proporcionando capacitación en concienciación sobre seguridad al personal involucrado en el apoyo y mantenimiento del sistema, para mantener su sensibilización sobre las amenazas de seguridad y las mejores prácticas de Seguridad.
8. Evaluación y mejora continuada: Establecer un proceso de evaluación y mejora continua de la seguridad, que permita identificar áreas de mejora, implementar medidas correctivas y adaptar las prácticas de seguridad a medida que evolucionen las amenazas y los requisitos.



El incumplimiento parcial o total de estos puntos se tendrá que acordar con el CISO de FMB.

5.5 JUSTIFICACIÓN CONFIDENCIALIDAD

La documentación confidencial se facilitará únicamente a los licitadores que hayan firmado el anexo correspondiente.

1. Para garantizar la seguridad de la infraestructura, la protección del pasaje y la correcta operatividad de los sistemas vinculados al servicio, determinados datos relativos a las iniciativas técnicas, a la arquitectura de los sistemas, a sus particularidades y a los mecanismos internos de gestión no pueden ser objeto de publicación abierta.
2. De acuerdo con la legislación vigente en materia de seguridad, protección de infraestructuras y gestión de riesgos, la difusión de esta información debe llevarse a cabo de forma limitada, controlada y exclusivamente a través de canales autorizados.
3. Que por la protección de intereses esenciales, y como medida de seguridad especial conforme a la legislación vigente, no debe publicitarse de forma abierta el contenido de las iniciativas, de las particularidades y de los elementos que integran los sistemas operacionales, su infraestructura y la gestión interna que FMB hace de las mismas.

6. PROTECCIÓN CIVIL

6.1 COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO

El diseño del tren deberá cumplir con la norma UNE-EN 50553 “Aplicaciones ferroviarias. Requisitos para la capacidad de rodadura en caso de fuego a bordo del material rodante” y con la norma UNE-EN 45545, en particular con la UNE-EN 45545-2:2020 para los requisitos de comportamiento al fuego de materiales y componentes. Según la parte 1 de dicha norma, el tren se clasificará como categoría de operación 2-N con nivel de riesgo HL2, siendo de aplicación todos los requisitos normativos correspondientes.

Durante la fase de proyecto, y siempre antes de la entrega del primer tren, el Adjudicatario deberá entregar a FMB un dossier que demuestre el cumplimiento de la UNE-EN 45545 de todos los materiales, componentes y subconjuntos a los que aplique, identificando expresamente los elementos afectados, el requisito aplicable en cada caso y la evidencia documental de su cumplimiento, incluyendo las características respecto a inflamabilidad, clasificación de fuego y humo, y la propagación de humo y/o gases tóxicos o corrosivos.

La capacidad de rodadura en caso de fuego a bordo se justificará conforme a la EN 50553:2012/A2:2020. Dado que los trenes objeto del presente Pliego se clasifican como material rodante de categoría A en materia de seguridad contra incendios, la función que deberá mantenerse será la de frenado, y su evaluación se realizará para un intervalo mínimo de 4 minutos.

El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto la justificación de cumplimiento, identificando las funciones afectadas por un incendio de tipo 2, la arquitectura de los equipos implicados y las condiciones de mantenimiento de la función de frenado durante dicho intervalo.

Los informes de ensayo que acrediten el cumplimiento de la UNE-EN 45545-2 deberán encontrarse vigentes y renovarse cada cinco años. No obstante, cuando no se hayan producido cambios en las características del producto, en el proceso de fabricación, en la cadena de suministro ni en los requisitos normativos aplicables, podrán aceptarse informes de ensayo con antigüedad superior a 5 años siempre que vayan acompañados de una declaración emitida por el fabricante original del producto, en la que se confirme expresamente dicha invariabilidad.

Esta declaración deberá emitirse, como máximo, dentro de los seis meses posteriores a la caducidad del informe inicial y renovarse cada cinco años.

A efectos de la aplicación de los requisitos de seguridad contra incendios y evacuación del presente Pliego, los trenes se considerarán como unidades de categoría A de material rodante de viajeros.

6.2 REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO Y CONDICIONES DE EVACUACIÓN

El Adjudicatario deberá cumplir en el diseño con la norma UNE EN45545-4:

- El interior y exterior de los vehículos ferroviarios se deben diseñar de tal forma que eviten partes como huecos, salientes, hendiduras en las que se puedan ubicar materiales combustibles (periódicos, basura, desechos, hojas o materiales provenientes de plantas, aceites y grasas).
- Limitación en la ubicación de productos combustibles junto a equipos que funcionan a altas temperaturas (calefactores/equipos de frenado). Dichos materiales deberán contar con ventilación o refrigeración local para disipar el calor.
- El material de las pantallas de los monitores debe ir protegidos por cristal o bien cumplir la norma UNE EN 45545-2 (véase en tabla 4 de dicha norma).
- Los asientos deberán diseñarse de forma que se puedan retirar fácilmente, del asiento o de la zona alrededor del asiento, los productos combustibles (en especial papel o basura), y en concreto, los que se encuentren debajo del asiento durante las labores de limpieza y mantenimiento.
- Las entradas y salidas de aire estarán diseñadas de forma que sea difícil introducir objetos por ellas.
- Se dispondrá de protección para evitar la ignición de materiales combustibles producidas

por cualquier fuente mecánica o eléctrica.

- Las condiciones de evacuación vendrán desarrolladas teniendo en cuenta que los factores que determinan su idoneidad son fundamentalmente:
 - La ocupación prevista en los coches del tren.
 - El dimensionamiento de los medios de paso o salida.
 - Los recorridos de salidas.

Para el diseño del tren, se tendrá en cuenta también la norma de Especificación Técnica de Interoperabilidad (ETI) (Decisión de la Comisión de 21 de febrero del 2008) del subsistema de material rodante del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad.

En ella se destaca los siguientes aspectos:

- Tiempo de evacuación completa de un tren: la evacuación completa de todos los viajeros sin equipaje se podrá realizar en 3 minutos cuando el tren efectúe parada junto el andén.
- Evacuación para personas con movilidad reducida: El Adjudicatario suministrará los dispositivos de emergencia que permitan la evacuación de viajeros con movilidad reducida. Dicho dispositivo se definirá en fase de proyecto.
- Permisi3n de puertas desde el interior/exterior: el motorista del tren dispondrá de mandos que permitan la permisi3n de las puertas por separado para cada vía, de modo que puedan ser abiertas por los viajeros cuando se detenga el tren.
- Las puertas de los trenes deben poder abrirse desde el exterior en caso de emergencia por los servicios de intervenci3n.

6.3 REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO EN LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS

El Adjudicatario deberá cumplir con la norma UNE EN 45545-5.

Los cables de alta tensi3n deben estar contenidos en un conducto o tubo metálico puesto a tierra, a trav3s de la caja, si transcurren:

- Por detrás de las paredes o dentro de ellas.
- Por debajo de los suelos por encima de los techos de las zonas reservadas a los viajeros o a la tripulaci3n.

- A través de conductos para la ventilación, que estén conectados a zonas reservadas a los viajeros o al personal a la conducción.

Las envolventes para equipos eléctricos deben estar diseñadas cumpliendo los requisitos de la Norma EN 45545-3. En caso contrario, se deberá colocar una barrera cortafuegos o una separación entre la envolvente y la zona ocupada por personas para dar la protección requerida.

En equipos con circuitos desprotegidos, el vehículo ferroviario debe estar protegido contra los efectos de los arcos eléctricos.

En los conductos para alojar cables se deberán tomar precauciones para evitar la acumulación de humedad/fluidos y las dimensiones de éstos deben ser tales que no supere la temperatura de funcionamiento establecida de los mismos.

El diseño del tren deberá incorporar medidas adecuadas para evitar el inicio y la propagación de un incendio debido a fugas de líquidos o gases inflamables.

A tal efecto, el Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto, como mínimo:

- la identificación de los líquidos y gases inflamables presentes en la unidad;
- las medidas de prevención de fugas y de contención adoptadas;
- la disposición, canalización, drenaje y ventilación de los circuitos y equipos que los contengan;
- la separación o protección frente a fuentes de ignición;
- las medidas que limiten la propagación del fuego en caso de fuga.

La justificación de estas medidas formará parte de la documentación de seguridad contra incendios del proyecto

Las baterías utilizadas para sistemas auxiliares o circuitos de alimentación deberán ubicarse de tal modo que los gases que puedan emitir éstas no se expulsen hacia las zonas ocupadas por personas. Éstas deberán ser conformes a la Norma EN 50547.

Los equipos de emergencia eléctricos se deben diseñar e instalar de forma que su integridad esté asegurada hasta que ya no sea necesario para la evacuación. Los cables utilizados para las funciones de emergencia se deben instalar de forma separada a los cables de alta tensión, a través de tubos o canaletas separados.

En caso de incendio se debe poder cortar el flujo de aire de dicho equipo, ya que podría afectar a

los pasajeros y al motorista. Cumplirá lo especificado en la Norma EN 45545-4 y la EN 45545-6.

Los componentes en la proximidad de la toma de corriente que puedan ser alcanzados por los efectos de arcos provocados por el aparato de toma de corriente, deben cumplir los requisitos indicados para los materiales especificados en la norma EN 45545-2.

Se deben tomar medidas acordes a la norma EN 44545-5 para evitar el riesgo de incendio en zonas donde las resistencias y los sistemas de calefacción tengan una temperatura superficial de 200 °C o más, en condiciones normales de funcionamiento o en condiciones de fallo (entre ellas, aislamiento, interponer distancia, placas de protección contra la radiación, uso de niveles separados de dispositivos de protección que corten suministro eléctrico por detección de sobre temperatura, y reducir posibilidad de entrada de suciedad en rejillas de protección).

6.4 SISTEMAS DE CONTROL Y GESTIÓN DEL FUEGO

El Adjudicatario deberá cumplir con la Norma En 45545-6.

Todo vehículo ferroviario se debe equipar:

- Con un sistema de detección de incendios automático.
- Con un sistema de alarma para pasajeros accionado por éstos que sirva para informar al motorista o al centro de control.
- Con un sistema de megafonía que el motorista o el centro de control pueda informar al pasaje.
- Con un sistema de alumbrado de emergencia que tenga suficiente intensidad luminosa y duración para la evacuación de los vehículos.

Deben estar de acuerdo con la norma EN 13272.

Debe permitir en caso de fallo del alumbrado general, la evacuación segura y fácil del público hacia el exterior. Solamente podrá ser alimentado por fuentes propias de energía, sean o no exclusivas para dicho alumbrado, pero no por fuente de suministro exterior.

En caso de incendio, el sistema de iluminación de emergencia deberá mantener operativo, durante un mínimo de 20 minutos, al menos el 50 % de las luces de emergencia de los vehículos no afectados por el fuego.

El cumplimiento de este requisito se justificará en fase de proyecto mediante un análisis de modo de fallo, que deberá considerar la arquitectura de alimentación, la sectorización de circuitos, las redundancias, los modos de fallo simple previsibles y las medidas de aislamiento del vehículo afectado.

El interior del tren, debe estar señalizado con elementos foto luminiscentes para indicar que puertas son las puertas de evacuación del tren para cada coche.

La disposición de los elementos foto luminiscentes deberá permitir la identificación de las rutas de evacuación, los elementos de seguridad y los dispositivos de emergencia en las zonas ocupadas por el pasaje y también en aquellas ocupadas por el personal a la conducción. Además, se verificará que los pictogramas correspondientes se encuentran ubicados correctamente. La señalización de los elementos foto luminiscentes cumplirá las normas UNE-23033, UNE 23034, UNE-23035 y UNE 23035-2.

- Con señales de emergencia adyacentes a todos los dispositivos de activación de alerta de emergencia, salidas de emergencia y equipo de emergencia:

Éstas deben ser señales permanentes y fácilmente visibles aún en condiciones de alumbrado de emergencia.

Deberán indicar la localización de:

- Los dispositivos de alarma para viajeros.
- Las salidas de emergencia.
- Los equipos de emergencia (por ejemplo, extintores).

El diseño, color y tamaño de las señales de emergencia deben estar de acuerdo con la Norma EN 61310-1.

- Con equipos móviles o portátiles de lucha contra incendios

El tren deberá estar equipado con medios móviles de lucha contra incendios consistentes en extintores portátiles.

Los extintores deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Tipo y capacidad: Extintores de agua nebulizada (tipo hídrico) de 6 kg, evitando el uso de extintores de polvo salvo justificación técnica aprobada por FMB.
- Compatibilidad eléctrica: Aptos para su uso en entornos eléctricos con un ensayo dieléctrico certificado a 35 kV, conforme a lo exigido en la UNE-EN 3-7 y etiquetados explícitamente para uso en presencia de equipos en tensión hasta dicho valor, de acuerdo con la normativa española de seguridad industrial vigente.
- Eficacia mínima: 27A – 233B, según norma UNE-EN 3-7.

- Supervisión de presencia: Los espacios destinados a alojar los extintores estarán dotados de un sistema de detección de ausencia (por ejemplo, microrruptores), que genere aviso en cabina o al centro de control.
- Señalización: La ubicación de los extintores deberá estar claramente señalizada conforme a la norma UNE 23033, garantizando visibilidad desde cualquier punto del coche.

Se instalará un (1) extintor por coche y un (1) por cabina de conducción. La ubicación, tipo exacto y etiquetado deberán ser validados por FMB en fase de proyecto.

- Con un sistema de control de la ventilación:

El conductor del tren (o telemando de centro de control, para el caso de trenes automáticos sin conductor) deberá tener las posibilidades de minimizar la distribución de humo y vapores en caso de incendio. Para ello debe posibilitar el poder abrir o cerrar las escotillas de entrada de aire exterior de forma automática o desde la cabina del conductor del tren o bien desde el CCM para aquellos trenes automáticos sin conductor.

6.5 COMPORTAMIENTO FRENTE AL RESBALAMIENTO

Se considera que durante el servicio comercial los suelos de los coches de los trenes pueden mojarse por diferentes motivos y formar depósitos de agua que provoquen caídas para el pasaje.

El pavimento del tren tendrá una resistencia a la resbalabilidad R10 según DIN 51130, para el suelo de las diferentes series de trenes.

Para las escaleras de evacuación utilizadas para llevar a cabo desalojos por emergencia en túneles a nivel frontal o lateral, dichas escaleras incorporarán un material en los peldaños que cumplan con la clase de suelo 3.

6.6 SEÑALIZACIÓN EN EL INTERIOR DEL TREN

Todos los trenes de FMB tendrán señalizado como mínimo lo siguiente:

1. Señalización indicando Puerta de Emergencia del tren.
2. Señalización Equipos contra incendios. Extintores.
3. Señalización interior del número de servicio (uno por coche).
4. Señalización alarma "Solicitud de Parada de emergencia".

5. Señalización cierre de puertas del tren.
6. Señalización desbloqueo puertas del tren.

La señalización del interior de los trenes debe cumplir las siguientes Normas UNE 23033, UNE 23034 y UNE 23035.

6.7 DISPOSITIVO DE EVACUACIÓN LATERAL

El tren dispondrá de tres (3) sistemas automáticos y escamoteables de evacuación lateral a vía por cada lado del tren, diseñados para permitir una evacuación rápida y segura del pasaje en caso de emergencia. La solución finalmente implantada deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

El Adjudicatario deberá suministrar dos (2) dispositivos por tren para el desalojo de pasaje entre trenes (pasarelas de evacuación intervehicular). Asimismo, deberá definir y justificar su ubicación en el interior del tren en coordinación con FMB.

Para garantizar un uso seguro y conforme a la normativa de prevención de riesgos laborales, los sistemas de evacuación deberán cumplir, además, con los siguientes requisitos establecidos por el RD 1215/1997 y criterios de ergonomía y señalización:

- El diseño del sistema deberá permitir su montaje y desmontaje por una sola persona, sin esfuerzo excesivo y con medidas de seguridad que limiten los riesgos mecánicos o de manipulación.
- El sistema será fácil y seguro de colocar y desmontar, y deberá incluir una ficha técnica con las características del equipo, especificando el peso de cada componente, materiales y requerimientos de uso.
- Cada equipo deberá estar instalado en un armario señalizado y fácilmente accesible, en el que se colocarán las instrucciones claras y visibles de montaje y desmontaje, incluyendo:
 - los pasos a seguir,
 - el número de personas necesarias para su manipulación,
 - y los riesgos asociados mediante pictogramas normalizados (riesgo eléctrico, atrapamiento, golpes, etc.).

- Dentro del armario o compartimento correspondiente, se deberá habilitar un espacio para almacenar los EPI's necesarios "in situ", incluyendo al menos 2 o 3 tallas de guantes, y cualquier otro equipo de protección requerido para la operación.

6.8 SEÑALIZACIÓN

Todas las señales de emergencia y evacuación deberán cumplir, como mínimo, con las dimensiones, diseño, colores y criterios de ubicación establecidos en la norma UNE 23034:1998 "Seguridad contra incendios", y deberán ser fotoluminiscentes.

Las señales fotoluminiscentes serán de Clase A, conforme a lo indicado en la norma UNE 23035:2003 "Seguridad Contra Incendios. Señales y sistemas fotoluminiscentes".

Para la señalización de las puertas, se utilizará preferentemente la opción de texto literal o combinación de texto con pictograma, siguiendo las indicaciones de la UNE 23034:1998. Se utilizarán las señales con la leyenda "Sortida" o "Sortida d'emergència", garantizando visibilidad desde cualquier punto del recorrido de evacuación.

Los carteles deberán instalarse, siempre que sea posible, sobre el marco superior de la puerta o en su proximidad, asegurando una buena visibilidad, sin interferencias ni posibilidad de confusión.

Asimismo, se colocará señalización fotoluminiscente de emergencia en las salidas de la cabina hacia el exterior.

La ubicación final y tipología de la señalización de emergencia será definida en coordinación con FMB durante la fase de proyecto, atendiendo a los principios de visibilidad, accesibilidad y seguridad establecidos por la legislación vigente en materia de PRL y seguridad ferroviaria.

6.9 RIESGO ELÉCTRICO

Las partes activas susceptibles de causar contactos eléctricos están debidamente protegidas.

Todos los sistemas eléctricos se deben poder accionar sin que se pierda la protección contra el contacto directo.

Los armarios dispondrán de sistema de cierre y apertura mediante llave de FMB.

Los cofres con equipos conectados a alta tensión dispondrán de un sistema de protección para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento, con objeto de evitar el contacto voluntario o fortuito con elementos bajo tensión.

Las partes activas susceptibles de causar choques eléctricos se deben proteger contra el contacto directo conforme a las prescripciones de la EN 50153. Para ello se debe garantizar la correcta puesta a tierra de todas las masas metálicas incluyendo la estructura del vehículo, carcasas de aparatos y equipos, susceptibles de estar bajo tensión en caso de una derivación. Estas medidas dependerán de la banda de la tensión que alimente a cada parte activa del tren.

Este sistema impedirá que se pueda acceder a los cofres de tracción y auxiliares, sin haber realizado previamente la desconexión de la alimentación principal y la maniobra de puesta a tierra.

El sistema de accionamiento de pantógrafos dispondrá de doble sistema de bloqueo, para evitar contacto involuntario con catenaria con orden de posición abajo y aviso de fin del recorrido.

El sistema de protección impedirá la subida de pantógrafos del tren, desconectará, físicamente, los equipos de la alta tensión y realizará la puesta a tierra de los circuitos de la unidad de tracción y de los convertidores.

La puesta a tierra de los circuitos deberá activarse mediante el accionamiento de un dispositivo de seguridad con enclavamiento, que deberá situarse en un emplazamiento adecuado y con las protecciones necesarias para evitar su accionamiento involuntario.

Las puertas de los cofres con acceso a alta tensión dispondrán de cerradura. Las llaves de apertura y cierre serán iguales para todos los cofres de la misma unidad de tracción y convertidor e irán dispuestas en un cofre de llaves. A este cofre solo se podrá acceder después de la puesta a tierra de dicha unidad de tracción y solo se podrá quitar la puesta a tierra si todas las llaves de la unidad de tracción y convertidor están en dicho cofre de llaves.

Los convertidores y las unidades de tracción dispondrán de una resistencia de descarga rápida de sus filtros interiores que quedará conectada a tierra al poner a tierra la unidad de tracción. El acceso a los circuitos y componentes de alta se realizará mediante puertas independientes que solo puedan ser abiertas con llaves accesibles después de la puesta a tierra de la unidad de tracción.

Cuando se desconecte el convertidor se deberá garantizar que la tensión residual presente en los condensadores del circuito de alta tensión se elimine en el momento de la desconexión.

Todos los equipos conectados a alta tensión dispondrán de señalizaciones ópticas claramente visibles desde el exterior de dichos equipos, que indiquen la ausencia/presencia de tensión.

7 DOCUMENTACIÓN

El Adjudicatario estará obligado a facilitar a FMB toda la documentación técnica necesaria para asegurar la explotación, el mantenimiento integral y la formación relacionada con el nuevo material móvil.

Esta información deberá entregarse acompañada de una base de datos estructurada con el siguiente contenido mínimo:

- número de plano de FMB,
- símbolo y posición en el plano,
- constructor,
- número de plano del constructor,
- fabricante,
- número de plano del fabricante,
- referencia del fabricante,
- número de elementos por aparato,
- número de elementos por coche (MA1–MB1–R–MB2–MA2) y total por tren,
- ubicación física en cada coche, peso y observaciones técnicas.

Este plan de mantenimiento deberá optimizarse en función de la experiencia adquirida durante el período de garantía y/o las adaptaciones necesarias para implementar el sistema de Mantenimiento Basado en Condición (CBM). El plan de mantenimiento actualizado será presentado para su aprobación antes del fin del período de garantía.

Además, cuatro (4) meses antes de la puesta en servicio del primer tren, el Adjudicatario deberá entregar a FMB un listado completo, en soporte informático y formato FMB, con los números de serie y fabricación de todos los equipos principales instalados en cada coche. Esta misma información deberá entregarse para los equipos y repuestos de parque. Esta condición es obligatoria para el inicio del período de garantía de los trenes.

Toda la documentación gráfica deberá cumplir con normativa de planos modelos incluida en el anexo “NORMATIVA PER A L' ELABORACIÓ DE PLÀNOLS I PER A LA RECEPCIÓ D' INFORMACIÓ GRÀFICA v2” correspondiente.

Cualquier cambio en la configuración inicial del tren y posterior a la entrega del tren, que conlleve cambios en la documentación (planos, esquemas, ...), deberá reflejarse en una versión actualizada y entregarse a FMB en el plazo máximo de un (1) mes desde la modificación.

FMB podrá requerir planos adicionales, que serán entregados también en soporte informático, en idioma catalán o castellano.

El incumplimiento en los plazos de entrega, la no conformidad con la normativa de documentación o cualquier otra incidencia relacionada con la entrega de información implicará una prórroga automática del período de garantía del tren afectado.

FMB deberá contar con toda la información necesaria para ejecutar de forma autónoma y completa el mantenimiento de los trenes, incluyendo documentación descriptiva y funcional, software, listas de materiales, ensayos, etc.

En caso de que FMB precise información técnica directamente de los suministradores de los constructores, estos estarán obligados a entregarla en un plazo máximo de un (1) mes.

El Adjudicatario deberá proponer un listado detallado de documentación a entregar junto con el suministro. Dicha lista deberá contener como mínimo los documentos solicitados este pliego. Durante la fase de proyecto, FMB validará su contenido definitivo.

A nivel de mantenimiento general del tren, el Adjudicatario deberá entregar en soporte informático editable y en formato validado por FMB la siguiente documentación:

- Documentación Técnica General
 - Memoria de proyecto.
 - Especificaciones técnicas.
 - Listas de materiales y equivalencias.
 - Arborescencia de piezas del tren. generales, de conjuntos, subconjuntos y su contenido, detallados hasta la última pieza montada.
 - Copia de pedidos de equipos.
 - Documentación por subsistema y por equipo.
- Planos
 - Generales, conjuntos, subconjuntos y despieces.
 - Planos de montaje (con pares de apriete)
 - Arborescencia de planos hasta la última pieza montada.

- Esquemas
 - Eléctricos y electrónicos: descripciones, esquemas, listas de equipos.
 - Neumáticos: descripciones, esquemas, listas de equipos.
- Manuales
 - Descriptivos de componentes.
 - Manuales de Operación y conducción.
 - Investigación de averías.
 - Mantenimiento y reparación:
 - Instrucciones técnicas.
 - Instrucciones de trabajo: para todas las operaciones de mantenimiento preventivo, correctivo y desmontaje/montaje de todos los equipos, en formato FMB
- Plan de mantenimiento
 - Plan completo (preventivo y correctivo): detallado para todos los equipos/aparatos del tren, incluyendo ciclos cortos, largos y revisiones generales. Se indicará también las instrucciones de trabajo correspondientes a cada equipo y periodicidad.
 - Plan optimizado con CBM al cierre de garantía.
- CMB:
 - Especificación de sensores instalados, arquitectura de adquisición de datos y criterios de diagnóstico predictivo.
 - Modelos matemáticos utilizados (donde aplique) para la predicción de fallos.
 - Propuesta de indicadores y umbrales de alerta para cada sistema monitorizado.
 - Integración del CBM en el plan de mantenimiento evolutivo.
- Mantenimiento de equipos electrónicos:
 - Esquemas eléctricos funcionales y de conexión del equipo completo.

- Esquemas electrónicos detallados de todas las tarjetas y circuitos impresos asociados al equipo.
- Listado de cableados y conectores, incluyendo codificación, numeración, longitudes, tipo de señal y especificación técnica.
- Planos de montaje de componentes electrónicos en las tarjetas (layout y serigrafía).
- Planos de los circuitos impresos (PCB) incluyendo todas sus capas y diseño completo en formato editable.
- Listas de materiales (BOM) y componentes electrónicos, indicando:
 - Referencia del fabricante original.
 - Características técnicas.
 - Equivalencias y alternativas si las hubiera.
 - Ubicación en el tren.
- Procedimientos detallados de diagnóstico, verificación, reparación y validación para:
 - Tarjetas electrónicas individuales.
 - Módulos completos.
 - Subconjuntos del equipo.
- Manuales de mantenimiento del equipo completo y de sus componentes electrónicos.
- Manuales funcionales y de principio de funcionamiento de:
 - El equipo completo.
 - Cada tarjeta electrónica y sus funciones dentro del sistema.
- Descripción funcional de los programas, firmware y lógica embarcada, incluyendo:
 - Diagramas de bloques funcionales.
 - Arquitectura software.
 - Algoritmos relevantes.

- Catálogos técnicos de los componentes clave, como:
 - Semiconductores de potencia.
 - Circuitos integrados.
 - Microprocesadores.
 - Convertidores analógicos/digitales.
 - Módulos de comunicación.
 - Controladores lógicos programables (PLC/FPGA si aplica).
 - Software de las tarjetas electrónicas.
 - Firmware de las tarjetas electrónicas.
- Formación
 - Documentación formativa técnica.
 - Simuladores y materiales.
 - Herramientas y Equipos: Documentación de útiles y bancos de pruebas asociados.

Todos los planos, esquemas y documentación gráfica necesarios para la operación, mantenimiento, inspección, reparación, sustitución de componentes, desmontaje y montaje de equipos deberán entregarse obligatoriamente en formato 2D, en DWG editable y PDF. Esta obligación incluirá, como mínimo, los planos de despiece, planos acotados, planos de interfaces, planos de montaje y desmontaje, planos de equipos, esquemas necesarios para mantenimiento, identificando en dichos planos los componentes, tolerancias funcionales, ajustes, pares de apriete, útiles necesarios, secuencias de desmontaje y montaje, y cualquier otra información gráfica necesaria para que FMB pueda mantener, reparar, sustituir o verificar los equipos durante toda la vida útil del tren.

FMB podrá aceptar la entrega en formato 3D de aquellos planos, modelos o documentación gráfica de carácter constructivo, de integración, disposición general, comprobación de interferencias, arquitectura de conjunto o definición geométrica del diseño, siempre que dicha información no sea necesaria como documentación directa de mantenimiento, reparación, montaje o desmontaje.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá presentar a FMB una propuesta de documentación gráfica definitiva, indicando para cada documento o conjunto documental su contenido, finalidad, formato de entrega, herramienta de visualización, codificación FMB, codificación del Adjudicatario, revisión aplicable y relación con el modelo 3D o plano 2D correspondiente. Dicha propuesta deberá ser revisada y aprobada por FMB antes de considerarse válida.

La aceptación por parte de FMB de documentación constructiva en formato 3D no eximirá al Adjudicatario de entregar en 2D, DWG editable y PDF, toda la documentación que FMB considere necesaria para mantenimiento, operación, inspección, reparación, reposición de piezas, montaje, desmontaje, formación y explotación técnica del material móvil.

En caso de discrepancia entre la documentación 2D, los modelos 3D y la configuración física del tren, el Adjudicatario deberá corregir y actualizar toda la documentación afectada hasta reflejar fielmente la configuración validada por FMB.

En referencia a la documentación de ciberseguridad, el Adjudicatario deberá entregar la siguiente documentación durante la fase de Ingeniería de proyecto y como máximo un año después de la firma del contrato:

- Análisis de riesgo preliminar y detallado.
- Inventario de activos y arquitectura de seguridad.
- Matriz de comunicaciones y reglas de Firewall.
- Guías de bastionado.
- Plan de mantenimiento y actualización.
- Planes de recuperación y continuidad.

A lo largo del período de garantía, el Adjudicatario deberá entregar toda la documentación y medios para que FMB pueda realizar el mantenimiento integral (preventivo, correctivo, predictivo, CBM...) de los trenes. para que FMB sea capaz de realizar de forma autónoma el mantenimiento integral del tren y sus equipos, incluyendo el mantenimiento y reparación de tarjetas electrónicas.

Para la firma del acta de recepción provisional e inicio de la garantía, será indispensable la entrega provisional de la documentación y el final del periodo de garantía irá ligado a la entrega definitiva de toda la documentación descrita anteriormente con las actualizaciones/modificaciones que hayan surgido durante las fases de proyecto y garantía.

7.1 REQUISITOS PARA VISUALIZACIÓN, WORKSTATIONS Y SOFTWARE DE CONSULTA

Dado que FMB deberá hacer consultas sobre los modelos 3D y documentación gráfica generada con herramientas específicas, y considerando que FMB puede no disponer de software, licencias o equipos

informáticos con capacidad suficiente para dicha visualización, el Adjudicatario deberá suministrar, instalar, configurar y mantener los medios necesarios para que FMB pueda consultar y revisar dicha documentación.

El suministro incluirá, como mínimo, las workstations, pantallas, periféricos, visores, software, licencias, módulos, conectores, plugins, librerías, configuraciones, manuales y soporte técnico necesarios para la visualización y revisión de los modelos entregados, incluyendo expresamente el visualizador de 3DXML cuando dicho formato forme parte de la entrega documental.

El Adjudicatario deberá suministrar, como mínimo, seis (6) puestos completos de visualización y revisión de modelos 3D, equivalentes a los puestos necesarios para consultar los modelos 3DXML o el formato de producción entregado. Dichos puestos se distribuirán, al menos, de la siguiente forma:

- una (1) workstation para el centro de mantenimiento de L1,
- una (1) workstation para el centro de mantenimiento de L2,
- una (1) workstation para el centro de mantenimiento de L3,
- una (1) workstation para el centro de mantenimiento de L4,
- una (1) workstation para el Taller Central de Sagrera,
- una (1) workstation para Ingeniería de Material Móvil.

Estos puestos deberán entregarse configurados y operativos antes de la primera entrega relevante de modelos 3D o documentación gráfica que requiera dichas herramientas.

Las workstations deberán ser equipos profesionales adecuados para el tamaño, complejidad y formato de los modelos entregados, incluyendo capacidad de proceso, memoria RAM, almacenamiento, tarjeta gráfica profesional, monitores de tamaño y resolución adecuados, dispositivos de entrada y sistema operativo compatible con las herramientas suministradas.

El Adjudicatario deberá justificar en fase de proyecto la configuración propuesta de hardware y software, incluyendo requisitos mínimos, formatos soportados, prestaciones esperadas, limitaciones conocidas, condiciones de licencia, periodo de validez, mantenimiento, actualizaciones y procedimiento de soporte.

Las herramientas suministradas deberán permitir el uso por personal de FMB sin necesidad de adquirir licencias adicionales para las funciones de consulta, medición, revisión y validación documental previstas en este apartado. Si alguna funcionalidad necesaria requiriera licencia específica, módulo adicional o conexión a servidores del Adjudicatario, deberá quedar incluida dentro del suministro.

El Adjudicatario deberá impartir la formación necesaria al personal de FMB para el uso de las workstations, visores, modelos 3D y procedimientos de revisión documental. Asimismo, deberá entregar instrucciones básicas de uso, administración, actualización, copias de seguridad y recuperación del entorno de visualización.

El suministro de workstations, software y licencias no limitará la obligación del Adjudicatario de entregar formatos neutros o de intercambio que permitan el archivo y consulta futura de la documentación por parte de FMB. FMB podrá exigir, de forma justificada, la entrega de formatos adicionales o conversiones cuando sean necesarios para asegurar la conservación documental, la revisión técnica o el mantenimiento del material móvil.

8 FORMACIÓN

8.1 GENERALIDADES

La formación del personal encargado de la operación y mantenimiento del material móvil estará incluida en el contrato.

Esta formación ofrecerá, en el momento requerido, los medios a FMB para mantener y operar el material móvil con total seguridad y con el mayor número de competencias posibles. Para ello, el Adjudicatario pondrá a disposición una serie de instructores, material de formación, documentos y demás accesorios necesarios para la formación de personal de Mantenimiento y Operación. Asimismo, proporcionará a todos los participantes la documentación pedagógica relativa a dicha formación.

En el caso de que, a juicio de FMB, las formaciones sean manifiestamente insuficientes, FMB se reserva el derecho de exigir la repetición de los mismos cuantas veces sean necesarios, sin coste asociado para FMB.

El Adjudicatario, durante la fase de Ingeniería y fabricación del proyecto deberá definir el plan de formación de ciberseguridad que incluya temario específico en función del perfil de usuario y/ o rol de interacción con el sistema y subsistemas. Dicho plan de formación deberá ser validado por FMB.

8.2 PERSONAL IMPLICADO Y CONTENIDO

El personal al que se dirige la formación comprenderá al:

- Personal encargado de la operación (Mando Intermedios de Operación y Operadores del CCM). 60 Mandos técnicos operativo (CTO) y 60 Personas Formadoras que trabajan en tres turnos. Esta formación comprenderá, al menos, lo siguiente:

- Formación sobre la conducción (en condiciones normales y degradadas) y resolución de incidencias. La duración mínima de las formaciones por persona será de 40 horas. Esta formación será teórico-práctica.
- Formación sobre la utilización de los sistemas de telemonitorización (y telemando en caso de que fuera implantado). La duración mínima de las formaciones por persona será de 20 horas.
- Personal encargado del mantenimiento del material móvil. Alrededor de 70 personas para L1, 70 personas para L2, 70 personas para L3, 70 personas para L4 y 80 personas para talleres centrales. Dichas formaciones se deberán realizar en tres turnos. El contenido de las formaciones deberá considerar los diferentes perfiles: operario de mantenimiento, técnico de mantenimiento correctivo, mandos e ingenieros. Comprenderá, cursos teórico-prácticos de como mínimo los siguientes aspectos:

Para la plantilla en general:

- Conocimiento general del tren y sus funcionalidades. Duración mínima 8 horas.
- Desalojo del tren.

Para los operarios de mantenimiento:

- Operaciones de mantenimiento preventivo. Se realizarán la primera vez que se vaya a realizar esas operaciones. Deberá ser una formación teórica/práctica. Duración mínima 8 horas por cada estadía de mantenimiento.
- Operaciones de mantenimiento correctivo. Se realizarán formaciones de los mantenimientos correctivos habituales. Deberá ser una formación teórica/práctica. Duración mínima 8 horas por cada tipo de operación de correctivo.
- Operaciones de mantenimiento de ciclo largo Talleres de Centrales. Formaciones y Homologaciones por parte del fabricante y sus suministradores de equipos para que el personal de FMB pueda realizar el mantenimiento de los equipos mecánicos y sus componentes hasta el nivel de sustitución y reparación de cada uno de sus elementos.

Resto de personal de mantenimiento (Técnicos de mantenimiento, Técnicos electrónicos, mandos e ingenieros): deberán realizar las mismas formaciones que los operarios de mantenimiento preventivo y además se deberá considerar las siguientes:

- Conocimiento de los materiales y del software a bordo del vehículo.
- Sistema de ayuda para el mantenimiento de a bordo.
- Las herramientas de diagnóstico, bancos de pruebas y utillajes disponibles.
- Gestión, diagnóstico, seguimiento y reparación de las averías.
- Resolución de incidencias en línea.
- Modificación de los parámetros de los softwares accesibles, y gestión de su evolución.
- Sistema de telemonitorización y CBM.
- Formaciones y Homologaciones oficial por parte del fabricante del tren y sus suministradores de equipos para que el personal de FMB pueda realizar el mantenimiento de los equipos electrónicos y sus componentes hasta el nivel de reparación de las tarjetas electrónicas y sustitución y/o programación de los elementos de estas.

Las formaciones para este personal se realizarán por equipos/sistemas. Cada formación de cada equipo/sistema será como mínimo de 16 horas por persona.

El contenido de cada una de las formaciones deberá ser entregado a FMB un (1) mes antes de la realización para la validación de dicho contenido.

8.3 PLAN DE FORMACIÓN

Siete (7) meses antes de la fecha contractual de puesta en servicio del primer tren se entregará a FMB el Plan de Formación y la documentación para la realización de los cursos que deberá ser validado por FMB. EL Adjudicatario presentará una propuesta preliminar con el suficiente detalle para justificar el cumplimiento de lo especificado en el presente pliego.

Este plan deberá considerar:

- Una planificación general de las formaciones.
- El objetivo y duración de cada programa,
- El sitio donde se ubicarán las sesiones de cada programa. Las formaciones se realizarán en las instalaciones donde indique FMB.

- El número de participantes, que será siempre inferior a 4 personas más el formador.
- La cualificación de las personas encargadas de cada programa, que deberán ser ingenieros cualificados en la materia a impartir.
- El establecimiento de este plan deberá adaptarse a las necesidades y disponibilidad de FMB. Las formaciones se deberán realizar en días laborables en los tres turnos de trabajo (de 6 a 14 horas, de 14 a 22 horas, y de 22 a 6 horas).
- La planificación debe considerar realizar cinco veces cada formación por turno, taller, línea y perfil de persona. Se deberá considerar la necesidad de replanificar en fase de proyecto un mínimo de 10% de los cursos.
- El Adjudicatario deberá realizar la formación de las instrucciones de trabajo, tanto de preventivo como de correctivo, a todo el personal de mantenimiento. Esta formación específica deberá realizarse antes de la finalización del periodo de garantía.
- El Adjudicatario deberá realizar la formación de las herramientas, bancos de pruebas y útiles especial al personal que FMB defina.
- El adjudicatario deberá redactar para el personal de conducción fichas sencillas y fácilmente entendibles para la resolución de las averías más comunes en servicio

El 100% del personal de Operación y CCM deberá haber recibido la formación antes de la puesta en servicio del primer tren.

La formación de Mantenimiento deberá finalizar tres (3) meses después de la puesta en servicio del primer tren. La formación avanzada de mantenimiento para técnicos, mandos e ingenieros se deberá realizar transcurridos 12 meses de la entrada en servicio del primer tren.

El plan de formación deberá garantizar que cualquier actualización o modificación precisará de una formación a todo el personal conforme al estado definitivo del material móvil, así como una actualización de la documentación de formación.

En cada programa específico, el Adjudicatario elaborará un plan de formación que incluirá, entre otros:

- Un estado detallado del curso de formación propuesto, la ubicación exacta, duración y número de sesiones propuestas, junto con información práctica necesaria cuando la formación se desarrolle en sus instalaciones.
- Una descripción del índice de los documentos pedagógicos facilitados.

- Una lista de documentos del mercado relativo al programa.
- Una definición de las especialidades recogidas en el programa.
- Una descripción de los conocimientos que el personal en prácticas va a adquirir una vez completada su formación.
- Los equipamientos e instalaciones a disposición del personal en prácticas.
- Una descripción del sumario de los métodos pedagógicos utilizados, tales como: cursos teóricos, trabajos prácticos, demostraciones.

8.3.1 Cabinas de simulación de conducción de alta inmersión

El Adjudicatario deberá suministrar 3, una por lote. En caso de adjudicación a una oferta integradora se deberá entregar dos cabinas de conducción. (una para línea 2 y otra para línea 1 y línea 3) de simulación de conducción de alta inmersión, asimismo, deberá suministrar el software del tren adaptable a la plataforma de simulación de FMB antes de la entrada en servicio del primer tren. Deberán funcionar de forma integrada con el SICRAO (Simulador Integral de Conducció i Operació) ya existente en FMB. En fase de proyecto el adjudicatario presentará la propuesta técnica y funcional de las cabinas de simulación.

El puesto de conducción deberá generar la inmersión necesaria para que el alumno perciba como real la experiencia formativa en el simulador.

Este puesto debe reunir las siguientes características:

- Posibilidad de simular más de una serie de tren en la misma cabina con posibilidad de añadir nuevos tipos de material rodante en el futuro.
- Habitáculo de cabina con acceso mediante puerta, sin cerramiento en el techo simulando la cabina real del tren para evocar la sensación de cabina real tanto en tamaño como ergonomía y disposición de elementos.
- Posibilidad de desmontaje de la cabina para un traslado relativamente sencillo con los refuerzos necesarios para garantizar su integridad.
- Instalación de mandos de conducción indicados reales para una correcta inmersión.
- Representación del resto de mandos e indicadores de manera virtual en pantallas táctiles.
- Inclusión de un sistema de sonido que simule las condiciones reales en ese aspecto en cabina.

- Comunicaciones (radioteléfono tren/ portátil), (cabina conducción/ cabina pasaje).
- Sistema de visualización exterior (cámara retrovisora).
- Sistema visual de representación de la línea. (cámaras, monitores, espejos de anden puertas de anden).
- Deberá contar con las vistas laterales simulando las ventanas para poder realizar la parada de precisión en los andenes con TPA.
- Cámara seguimiento acciones alumno.
- Asiento ferroviario idéntico al utilizado en cada serie de tren.

El Adjudicatario deberá suministrar e instalar una estructura adicional, independiente del simulador de conducción, destinada a la formación práctica del personal de conducción en procedimientos de evacuación. Esta estructura reproducirá, a escala real, los dispositivos de evacuación reales instalados en los trenes, incluyendo:

- Escalera lateral de evacuación, ubicada en la zona de puertas de acceso al tren.
- Escalera frontal de evacuación, ubicada en la testera de cabina.

Ambos elementos deberán estar montados de forma fija sobre una estructura metálica o equivalente que garantice su estabilidad y seguridad durante su uso formativo. El conjunto deberá permitir el entrenamiento en condiciones representativas, incluyendo el acceso, despliegue, recogida y descenso/ascenso a pie de vía o andén simulado.

El diseño deberá cumplir con los criterios ergonómicos y de seguridad vigentes, y contemplar accesibilidad desde suelo llano.

El Adjudicatario entregará en fase de proyecto la documentación técnica del conjunto, incluyendo planos, materiales, certificaciones de resistencia estructural y normativa aplicable, así como el procedimiento de instalación y mantenimiento.

8.3.1.1 Representaciones Virtuales

Se representarán con paneles virtuales fuera de la cabina, a modo tótem, todos aquellos elementos que se encuentran fuera de la cabina y con los que el personal de conducción tendrá que interactuar en caso de incidencia. Se deberá poder navegar de una manera lo más realista posible (2D y 3D) hasta poder acceder a ellos desde el andén, desde la vía y por dentro del tren. Entre otros son:

- Operaciones en elementos de puertas.

- Paneles neumáticos.
- Paneles de relés.
- Llaves y válvulas.
- Conmutadores u otros elementos de aislamiento.
- Interruptores.
- Puertas de emergencia, pasarelas de evacuación.
- Condena y aislamiento de las puertas.
- Accionamiento para aflojar el freno de estacionamiento.
- ...etc.

8.3.1.2 Sistema de Sonido

El sistema de sonido deberá incluir reproducciones de audio 5.1, como mínimo, que proporcionan una simulación 3D realista del entorno de audio en la cabina.

El sistema de sonido deberá poder reproducir sonidos simultáneamente.

El sistema de audio utilizará el efecto Doppler en tiempo real.

Se simularán los siguientes sonidos:

- Motor de tracción, que varía en función de la velocidad y la carga.
- Los sonidos del freno neumático y las pastillas de freno.
- Los sonidos del aire de la cabina, el silbido del aire, especialmente en los túneles.
- El ruido de la vía en raíles articulados y las soldaduras en los cambios de vía y cruzamientos de carriles.
- Bocina neumática / eléctrica.
- Ruido de los trenes que se cruzan (dependientes de la longitud y la velocidad del tren).
- El chirrido de las ruedas en las curvas.
- Sonidos de advertencia y alarmas en la cabina.

- Sonidos de accionamientos de pulsadores y elementos de cabina.

Todos los sonidos serán emulados por software (incluyendo los intercambios por RADIO), permitiendo la reproducción del sonido y un ajuste preciso de la ubicación en el espacio.

8.3.1.3 Comunicaciones

Las comunicaciones del alumno con pasaje, otros trenes, centro de control, instructor, etc, necesarias para la operación normal del metro se realizarán con los mismos elementos y de la misma forma que la cabina real.

8.3.1.4 Sistema de Visualización

La imagen mostrada se refrescará a una frecuencia de 100Hz, como mínimo, sincronizada con la frecuencia de las pantallas. Así se evitarán saltos y discontinuidades logrando una imagen suave al desplazarse en el escenario.

El sistema visual permitirá además tomar referencias de posición y velocidad correctamente durante la simulación. La calidad de la imagen permitirá identificar cualquier objeto de manera y a la distancia adecuada. Todo esto contribuirá a minimizar los errores de percepción mejorando la inmersión del alumno durante el ejercicio.

El sistema de la visión frontal y lateral del personal de conducción se compone de 1 pantalla tamaño similar al frontal del tren que cubrirá un ángulo de visión desde la posición del personal de conducción y dos pantallas laterales.

8.3.1.5 Mandos de Conducción Reales

Para garantizar un alto grado de inmersión los elementos del puesto de conducción estarán instalados en un habitáculo simulando la cabina real del tren, el pupitre tendrá las medidas reales y una serie de mandos cuyo aspecto, tacto y configuración serán reales. Estos mandos, como mínimo, serán los siguientes:

- Manipulador marcha freno con H.M.
- Botonera ATP/ ATO.
- Botoneras lazos y Modo Especial.
- Inversor de marcha.
- Llave de gobierno.

- Seta de emergencia.
- Pulsadores gestión de puertas.
- Pulsadores anulación dispositivos de seguridad.
- Selector modo especial.
- Avisadores acústicos.
- Gestión freno estacionamiento/retención.
- Elementos de comunicación con puesto de control.
- Luces e indicadores de los diferentes equipos de la cabina.

Aquellos mandos, indicadores, equipos de seguridad, pantalla de conducción... que no se hayan integrado físicamente en el simulador se representarán virtualmente en pantallas táctiles de manera realista, cubriendo todos los elementos reales del tren.

Cualquier elemento no suministrado de inicio, y que a posteriori sea relevante para la simulación deberá incluirse en el proyecto, sin coste para FMB.

Cualquier actualización del software en el tren, deberá suministrarse al proveedor del simulador para tener actualizado este a la vez que se actualizan los softwares de los trenes.

8.4 MATERIAL DIDÁCTICO

El Adjudicatario deberá entregar a FMB, antes del inicio de cada formación, todo el material didáctico y los medios complementarios necesarios para garantizar la eficacia de la formación. Este material deberá permitir su reutilización, comprensión autónoma y actualización posterior por parte de FMB.

El material deberá incluir, como mínimo:

- Manuales formativos completos, en formato digital, redactados en catalán o castellano y con contenido específico adaptado a cada perfil (conducción, mantenimiento,...).
- Presentaciones en formato audiovisual (vídeo), que cubran tanto los módulos teóricos como los prácticos incluyendo como se realizan las operaciones. Estos vídeos deberán estar organizados por tema, ser reproducibles sin restricciones y validados por FMB para que la formación se pueda realizar de forma autónoma.
- El Manual del formador que incluirá como mínimo:

- Objetivos pedagógicos de cada módulo.
 - Duración estimada por sesión.
 - Métodos de enseñanza.
 - Criterios de evaluación del aprendizaje.
- Ejercicios, casos prácticos, orientados a verificar la comprensión del contenido por parte del personal asistente.
 - Esquemas funcionales, diagramas, planos de sistemas y listas de componentes, vinculados a las unidades formativas correspondientes.
 - Listado de herramientas y utillaje asociado a las prácticas y módulos técnicos.

Toda la documentación deberá entregarse como mínimo una (1) semana antes del inicio de cada sesión, en formato digital editable (PDF, PowerPoint, Word, Excel o equivalente), y quedará bajo propiedad de FMB para uso interno.

Los contenidos deberán facilitar su actualización futura ante posibles cambios de diseño, software o mantenimiento del material rodante.

9 SOSTENIBILIDAD

9.1 DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO VERIFICADA

El Adjudicatario deberá elaborar y presentar Declaración Ambiental de Producto (EPD) siguiendo el Sistema Internacional EPD® según PCR 2023:01 Rolling stock (o versión actualizada) para material rodante (UN CPC 495), así como según los principios y procedimientos de las normas ISO14025, ISO 14040 e ISO 14044.

Esta Declaración se deberá presentar como máximo seis (6) meses después de la entrada en servicio del primer tren.

La EPD se basará en la metodología del análisis de ciclo de vida y será validada externamente por parte de un organismo verificador certificado independiente aprobado por el comité técnico de Sistema Internacional EPD® o similar.

La unidad funcional será el transporte de un pasajero por 1 km.

La EPD deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Hará referencia al programa al que se ha registrado. Todas las EPDs registradas cumplen los mismos requisitos de calidad.
- Hará referencia al documento PCR que se ha utilizado para el desarrollo del ACV y EPD (PCR 2023:01 Rolling stock o la versión actualizada) así como a los procedimientos de la ISO 14025:2006 o versión actualizada.
- Deberá tener la información sobre el proceso de verificación: nombre del verificador y fecha de validez.
- El Certificado de verificación presentado debe ser emitido por Entidad de Certificación, acreditado por ENAC y/o por EPD International® o similar.
- Los índices de reciclabilidad y recuperabilidad del vehículo ferroviario se deberán calcular según las normativas ISO 21106 o según UNIFE UNI-LCA-001, que proporcionan información detallada sobre las etapas de cálculo y las cifras del reciclaje de materiales. La normativa utilizada para realizar el cálculo deberá declararse en las EPD.
- Las emisiones acústicas del vehículo ferroviario deberán incluir como mínimo:
 - Nivel de presión acústica en parado interior y exterior.
 - Nivel de presión acústica en aceleración interior y exterior.
 - Nivel de presión acústica con velocidad constante interior y exterior a 30/50/80 km/h.

El estándar utilizado para realizar las mediciones deberá declararse en la EPD®.

- Los resultados de consumo de energía deberán calcularse con valores extremos de recepción en catenaria. Se considerarán dos posibles escenarios: uno en el que la energía necesaria durante el frenado es regenerada en la catenaria (100% de receptividad) y otro en el que se disipa toda la energía (0% de receptividad).
- Impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida (/pax.Km). La EPD declarará las categorías de impacto predeterminadas tal como se describe en las Instrucciones Generales del Programa.

En la EPD deberá aparecer de forma clara y precisa el valor absoluto de los Km x pasajero totales estimados durante toda la vida útil del tren. En el caso de estimar varios escenarios en cuanto a km x pasajero se indicarán las hipótesis tomadas (pasaje máximo total, pasaje nominal, pasaje medio, etc) y el valor de las mismas. La entrega de la EPD deberá entregarse antes de la entrada en servicio del último tren.

En la EPD deberán aparecer los resultados ligados a energía y a emisiones de CO2 en valores absolutos para el tren además de los valores exigidos en ratio de unidad funcional.

Para los diferentes escenarios de la EDP se deberán indicar para los impactos en energía i emisiones de CO2 las cantidades tanto en valor absoluto como por unidad funcional en el detalle de fases "Detailed phases" que presenta cada una de las fases del ACV.

Concretamente se darán los valores de detalle (dentro de las fases del ACV "Detailed phases" de los resultados en cuanto emisiones de CO2eq y energía consumida, tanto en unidades absolutas como relativas a la unidad funcional (pax_km):

emisiones de CO2eq: t CO2eq (absoluta) y g CO2eq/pax_km (relativa)

energía consumida kWh (absoluta) y (kWh/pass_km) x 10³ (relativa)

El tren ofertado deberá cumplir al menos los siguientes requerimientos, según ISO 21106:

- Reciclabilidad: **94%**.
- Recuperabilidad: **96%**.

En fase de proyecto, el Adjudicatario deberá entregar un Manual de Ciclo de Vida que incluya las instrucciones específicas de gestión de residuos (capítulo 8.3).

9.2 DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL REACH

El Adjudicatario deberá cumplir de forma fehaciente con el Reglamento EC 1907/2006 (en adelante denominado REACH) y con la "Lista de sustancias prohibidas y declarables de la industria ferroviaria" especificando la no existencia de sustancias prohibidas ("UNIFE Material Declaration Template" disponible en <http://unife.org>).

En concreto el Adjudicatario deberá considerar obligatoriamente los siguientes puntos del Reglamento REACH (EC 1907/2006):

1.- Declaración sobre sustancias candidatas extremadamente preocupantes (SVHC):

Declaración sobre la presencia de sustancias incluidas en la Lista de Candidatos del REACH, indicando si están presentes en el producto en concentraciones superiores al 0,1% en peso. En caso afirmativo, deberá proporcionar la siguiente información:

- Identificación de la sustancia.
- Cantidad estimada y localización en el producto.
- Información suficiente para permitir un uso seguro, según lo establecido en el artículo 33 del REACH.

Se valorará que el Ofertante proponga un número de sustancias de la lista sustancias candidatas de REACH (a fecha de publicación la presente licitación) se compromete a no utilizar (<https://echa.europa.eu/es/candidate-list-table>).

2.- Declaración de sustancias incluidas en la Lista de autorización (Anexo XIV):

Confirmación explícita de que el producto, el proceso de fabricación y la cadena de suministro no utilizan sustancias incluidas en el Anexo XIV del REACH, salvo que:

- El Adjudicatario disponga de una autorización vigente emitida por la Agencia Europea de Sustancias Químicas (ECHA).
- El uso de la sustancia cumpla con excepciones explícitas listadas en el Anexo XIV.

La utilización de productos que incorporen sustancias consideradas "declarables" deberá someterse a la aprobación de FMB, justificando la no existencia de alternativas. En caso de que estos productos, debido a cambios legislativos, pasen a estar prohibidos, el Adjudicatario estará obligado a proponer alternativas al menos durante los 20 años posteriores a la entrega del primer tren.

3.- Declaración de ausencia de sustancias prohibidas (Anexo XVII):

Confirmación de que el producto final no contiene sustancias prohibidas o restringidas según el Anexo XVII del REACH. En caso de contener sustancias restringidas, deberá especificarse:

- La sustancia afectada.
- La cantidad presente.
- La conformidad con las restricciones establecidas en el Anexo XVII.

Durante la fase de proyecto se realizarán auditorías de todos los sistemas del tren por un organismo autorizado por FMB para comprobar la ausencia de aquellas sustancias prohibidas, así como aquellas sustancias candidatas que el Adjudicatario se haya comprometido contractualmente a no utilizar. La realización de estas auditorías serán documentales a la totalidad de los sistemas del tren. Dicha auditoría se deberá entregar a FMB antes de la puesta en servicio comercial del primer tren.

FMB se reserva la potestad de pedir ensayos destructivos de algún equipo, aparato o elemento, si documentalmente no se ha podido demostrar por parte del Adjudicatario la ausencia de sustancias prohibidas o candidatas que contractualmente no deberían estar siendo utilizadas. El número de ensayos no será superior a 10. Dichos ensayos serán responsabilidad del Adjudicatario sin coste alguno para FMB.

La salida de garantía de los trenes irá ligada a un informe justificativo final del cumplimiento del REACH a la fecha de finalización de dicha garantía. Esto significa que todos los productos hayan podido pasar a ser prohibidos durante la fase de garantía no deberán estar presentes en el tren.

9.3 INSTRUCCIONES ESPECÍFICAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS

El Adjudicatario deberá presentar, antes de la entrega del primer tren, la siguiente información:

1. Inventario de materiales por tren

Se incluirá un desglose del peso total (en kg) de los principales grupos de materiales empleados en la construcción del tren, agrupados como mínimo en:

- Aluminio, acero, cobre y otros metales,
- Plásticos, elastómeros y materiales compuestos,
- Vidrios, cerámicos, pinturas y fluidos técnicos.

2. Origen de fabricación de equipos

Se indicará, por cada subsistema principal (tracción, freno, climatización, puertas, pantógrafo, etc.):

- Empresa suministradora,
- País y localidad de fabricación.

Cualquier cambio relevante durante la garantía deberá reflejarse en una actualización de esta información.

El Adjudicatario deberá presentar los procedimientos para el reciclaje de los principales componentes y piezas del tren que garanticen el cumplimiento de la normativa y la protección del medio ambiente y las personas.

Esta documentación deberá presentarse junto con el primer tren. Cualquier cambio en el configuración y/o funcionamiento del tren, durante la fase de garantía, requerirá la presentación de una actualización de dicha documentación y estará vinculada a la finalización del periodo de garantía.

Las instrucciones deben contener como mínimo la siguiente información:

- Los métodos de reciclaje requeridos cuando los vehículos, sistemas y componentes se desmontan (recuperan) para alcanzar la eficiencia de reciclaje especificada.
- Instrucciones de eliminación y reciclaje relacionadas con los materiales relevantes del Anexo 14 y Candidatos.
- Ilustraciones del sistema / subsistema donde están marcados los componentes y las partes, junto con la lista de materiales descrita anteriormente. Las ilustraciones deben presentar el contenido principal del material y la reciclabilidad del componente respectivo.
- La documentación debe establecer las instrucciones de montaje y desmontaje y las normas de seguridad relativas a los sistemas / subsistemas y componentes.

9.4 PESO

El tren deberá ser lo más ligero posible, con objeto de reducir el consumo energético, las solicitudes sobre la infraestructura y los costes de mantenimiento.

El peso máximo admisible de la unidad completa en tara, condición AW0, sin incluir los equipos de aportación FMB descritos en este pliego, será de:

- Lote 1: Trenes L2 y L4: 153.000 Kg.
- Lote 2: Trenes L1: 158.000 Kg.
- Lote 3: Trenes L3: 153.000 Kg.

En dicho cálculo se excluyen los trenes auscultadores.

Se valorará en la oferta el peso de la unidad completa, valorándose favorablemente que el peso ofertado sea inferior al peso máximo admisible indicado. El peso ofertado deberá desglosarse por coche y por principales sistemas.

En el peso ofertado y objeto de valoración no estarán incluidos los equipos de aportación FMB descritos en este pliego. No obstante, el Adjudicatario deberá incorporar en la ficha de masas tanto el peso contractual sin dichos equipos como el peso final estimado y medido del tren con todos los equipos instalados, diferenciando expresamente la contribución de los equipos de aportación FMB

En el reparto de masas se tendrá en cuenta los desequilibrios máximos admisibles establecidos en este pliego, así como las cargas máximas por eje y por rueda resultantes en las distintas condiciones de carga.

Se admitirá una tolerancia en el peso indicado de +500 kg por coche, sin penalización. El exceso de peso de cada coche por encima del valor ofertado más dicha tolerancia será penalizado por cada kg de exceso, según se establezca en el Pliego de Condiciones Particulares.

La medida del peso se realizará antes de la salida de fábrica del tren, con el tren completo y con todos los equipos montados. No se aceptará que la medida de peso se realice con equipos pendientes de montaje, salvo autorización expresa de FMB y siempre que se justifique documentalmente la masa de los equipos no instalados. En caso contrario, se considerará como peso de referencia el mayor peso medido durante el proyecto, incrementado con la masa justificada de los equipos pendientes de montaje y, en ausencia de justificación suficiente, con un margen adicional del 10 % sobre dicho valor.

La categoría de línea EN del vehículo se establecerá conforme a UNE-EN 15528:2022, indicando el valor de carga útil en zonas de permanencia de pie (kg/m^2) utilizado. Se adoptará siempre el valor estándar y se indicará mediante el subíndice correspondiente. En caso de emplearse, para la condición “masa de diseño bajo carga útil excepcional (MXD)”, un valor particular de carga útil en zonas de pie, se definirá adicionalmente una segunda categoría utilizando dicho valor (pXXX).

El Adjudicatario entregará una ficha de masas y cargas que incluya: condiciones de carga consideradas (incluida MXD), cargas estáticas por eje y disposición/posiciones de ejes, así como la categoría de línea EN resultante con el kg/m^2 adoptado en zonas de pie, conforme a UNE-EN 15528.

La norma UNE-EN 15528 se considerará, cuando proceda, como referencia metodológica para la determinación y presentación de las cargas por eje, masas por unidad de longitud y parámetros asociados a la compatibilidad entre vehículo e infraestructura.

Su inclusión en el presente apartado no supondrá su aplicación directa como criterio único de compatibilidad con la infraestructura de FMB, debiendo prevalecer en todo caso las condiciones específicas de la red, gálibo, trazado, estructuras, vía, talleres y demás requisitos particulares definidos en el presente pliego o facilitados por FMB en fase de proyecto.

9.5 VIBRACIONES

El nivel de vibraciones mecánicas transmitidas por el tren deberá cumplir:

- Lo establecido en el Real Decreto 1311/2005, en cuanto a límites de exposición para el personal ante vibraciones mecánicas,
- Y la norma EN 12299, relativa al confort vibratorio percibido por los pasajeros.

El objetivo es garantizar la protección de la salud del personal de operación y mantenimiento, así como el confort dinámico de los ocupantes del tren, tanto en cabina como en salones de viajeros.

Todos los equipos susceptibles de generar vibraciones (HVAC, convertidores, compresores, etc.) deberán:

- Estar montados con elementos elásticos (silentblocks u otros sistemas antivibratorios), o
- En caso de montaje rígido, el Adjudicatario deberá justificar mediante informes de cálculo y ensayo que se cumplen los límites exigidos por el RD 1311/2005 y la EN 12299, incluso en las condiciones más desfavorables de carga y vía.

Durante la fase de validación del proyecto, el Adjudicatario deberá presentar:

- Informes de simulación de vibraciones estructurales en bastidor y caja,
- Resultados de ensayos en vía o banco, conforme a:
 - ISO 2631-1 (vibraciones del cuerpo completo),
 - EN 12299 (confort vibratorio),
- Protocolos de prueba que reflejen las condiciones reales de operación (curvas, aceleraciones, frenado, vía contaminada...).

9.6 RUIDO

Con relación a la presión sonora, con el fin de minimizar el impacto medio ambiental y preservar el bienestar de las personas, el tren respetará los siguientes límites de emisión sonora medidos según lo establecido en las normas UNE-EN ISO 3095:2013 (o última actualización) para la medida del ruido al exterior de las unidades y según la UNE-EN ISO 3381:2005 (o última actualización) para la medida del ruido al interior de los vehículos.

Los requerimientos exigidos serán los siguientes:

Ruido exterior:

- Tren parado al aire libre (ruido estacionario): El tren deberá cumplir los siguientes límites de ruido exterior, medidos a una distancia de 7,5 m del eje de vía y a una altura de 1,2 m sobre la superficie superior del carril, de acuerdo con la UNE-EN ISO 3095:
 - a) El nivel continuo equivalente de presión acústica con ponderación A de la unidad, $L_{pAeq,T[unit]}$, no sobrepasará los 65 dB(A).
 - b) El nivel continuo equivalente de presión acústica con ponderación A en el punto de medición más próximo al compresor de aire principal, $L_{ipAeq,T}$, no sobrepasará los 68 dB(A). La medición se realizará con el compresor funcionando en las condiciones necesarias para su operación, evitando la contribución al ruido de otros equipos que no sean necesarios para dicho funcionamiento.
 - c) El nivel máximo de presión acústica con ponderación AF en el punto de medición más próximo al ruido impulsivo de la válvula de escape del secador de aire, $L_{ipAFmax}$, no sobrepasará los 85 dB(A).

Los equipos funcionarán según las condiciones y el procedimiento de ensayo definidos en la UNE-EN ISO 3095.

- Tren en puesta en marcha al aire libre: El nivel máximo de presión acústica con ponderación AF, $L_{pAF,max}$, medido durante la puesta en marcha del tren, no sobrepasará los 80 dB(A), medido de acuerdo con la UNE-EN ISO 3095. El ensayo se realizará mediante aceleración del tren desde parado hasta 30 km/h, manteniendo a continuación dicha velocidad.
- Tren en frenado desde baja velocidad hasta parada al aire libre: El nivel de ruido exterior durante la frenada se evaluará conforme al procedimiento definido por FMB en fase de proyecto y no deberá presentar incrementos anómalos respecto a los niveles de diseño del tren.
- Tren en paso al aire libre a velocidad constante de 80 km/h: El nivel continuo equivalente de presión acústica con ponderación A correspondiente al ruido de paso, $L_{pAeq,Tp(80\text{ km/h})}$, no sobrepasará los 80 dB(A). La medición se realizará a una distancia de 7,5 m del eje de vía y a una altura de 1,2 m sobre la superficie superior del carril, conforme a la UNE-EN ISO 3095:2013 o versión vigente en fase de proyecto.

El ensayo se realizará en vía de referencia o en una vía que cumpla las condiciones acústicas admisibles de ensayo conforme a la norma aplicable.

Ruido interior:

Posiciones de medida según ISO 3381:2005 en cualquier posición en el eje central del tren y a una altura de 1,2 m en las zonas sentadas y 1,6 m de altura en las zonas de puertas y pasillo.

- Tren parado al aire libre: El nivel de ruido medido con el parámetro L_{pAeqT} en las posiciones recomendadas en la norma ISO 3381:2005 no sobrepasará 65 dB(A). Los equipos funcionarán de acorde a lo establecido en la norma ISO 3381:2005.
- Tren en aceleración/frenado desde parado de 0 a 30 km/h y viceversa al aire libre: El nivel de ruido medido con el parámetro L_{pAmax} durante la aceleración/frenada no sobrepasará 75 dB(A) medidos según norma ISO 3381:2005. La aceleración/frenado de la unidad corresponderá a la típica utilizada en servicio comercial.
- Tren a velocidad constante de 80 km/h al aire libre: El nivel de ruido medido con el parámetro L_{pAeqT} no sobrepasará los 70 dB(A) en una vía que cumpla con los requerimientos de calidad acústica (rugosidad y "Track Decay Rates") recomendados en la ISO 3095:2013. En caso de que el tren no pudiese validarse en vía al aire libre a velocidad constante, el Adjudicatario deberá proporcionar en fase de proyecto simulaciones de ruido interior que demuestren el cumplimiento de este requerimiento basadas en métodos validados de predicción de ruido interior que obtengan la contribución del ruido interior transmitido por vía aérea y estructural.
- Tren a velocidad constante de 80 km/h en túnel: Debido a los diferentes tipos de túneles posibles, el nivel de ruido interior medido en las mismas condiciones que al aire libre no sobrepasará los siguientes niveles, respetando siempre los criterios de calidad acústica de vía recomendados en la ISO 3095:2013.
 - + 7 dB respecto al aire libre en túnel de vía doble con balasto.
 - + 13 dB respecto al aire libre en túnel de vía única en placa.
- Ruido interior en cabina de conducción: La cabina de conducción deberá cumplir los siguientes límites de nivel continuo equivalente de presión acústica con ponderación A, $L_{pAeq,T}$, medidos en las proximidades del oído del personal de conducción, de acuerdo con la UNE-EN ISO 3381 o versión más actualizada disponible a la firma del contrato:
 - a) En parado, con las bocinas de advertencia en funcionamiento, $L_{pAeq,T} \leq 95$ dB(A).
 - b) A la velocidad máxima de explotación de la unidad, siendo esta inferior a 250 km/h, $L_{pAeq,T} \leq 78$ dB(A).

La demostración de conformidad se realizará conforme a la UNE-EN ISO 3381, aplicando las posiciones de medida y condiciones de ensayo definidas para la cabina de conducción.

El Adjudicatario proporcionará mediciones en al menos dos proyectos o simulaciones de ruido, así como propuestas técnicas que demuestren la viabilidad técnica para alcanzar los niveles requeridos en este capítulo.

9.7 CONSUMO ENERGÉTICO

El Ofertante realizará una simulación de consumo energético de un tren que contemplará una vuelta completa (por ambas vías) de FMB en Línea 2 para el Lote 1, en Línea 1 para Lote 2 y/o en Línea 3 para Lote 3.

La valoración se realizará tomando como referencia la metodología de la norma EN 50591, o norma vigente que la sustituya, con las condiciones específicas definidas por FMB en el presente apartado.

A efectos de puntuación, se considerará como consumo energético del tren la energía eléctrica neta, expresada en kWh, consumida por el tren durante el recorrido de referencia definido por FMB.

La simulación y la medición de la energía tomada y de la energía devuelta se realizarán en el punto de captación de corriente del tren.

A efectos de dicho calculo, se considerará que la infraestructura de alimentación dispone de capacidad de absorción de la energía regenerada mediante los sistemas de recuperación de energía instalados. En consecuencia, el escenario puntuable será el de red receptiva y recuperación completa.

El consumo energético puntuable incluirá:

- Energía consumida por la tracción.
- Energía consumida por los equipos auxiliares necesarios para la explotación normal del tren.
- Energía consumida por los sistemas de control, señalización embarcada, refrigeración de equipos, comunicaciones e información al pasaje que deban estar activos durante la circulación normal del tren.
- Energía consumida por los equipos necesarios para mantener la cabina activa en condiciones normales de conducción.
- Energía devuelta a la línea durante el frenado regenerativo, que se descontará del consumo puntuable.

El consumo energético puntuable no incluirá:

- Consumo del sistema de aire acondicionado de sala de pasaje.
- Consumo del sistema de aire acondicionado de la cabina no activa.
- Consumo de maniobras no incluidas en el recorrido de referencia.
- Consumo por apertura y cierre de puertas.
- Consumo asociado a incidencias, modos degradados o situaciones no previstas en el recorrido de referencia.

9.7.1 Condiciones para el cálculo

Se calculará el consumo energético puntuable bajo las siguientes condiciones:

- Tren en condición AW0.
- Tren en estado normal de explotación, sin modos degradados.
- Ruedas nuevas.
- Vía seca y condiciones normales de adherencia.
- Sistema de aire acondicionado de sala de pasaje apagado.
- Cabina activa en condiciones normales de conducción.
- Cabina no activa con el aire acondicionado apagado.
- Tensión nominal de línea correspondiente a la línea evaluada.
- Corriente máxima admisible de tren conforme a los valores definidos por FMB.
- Perfil de línea, pendientes, curvas, túneles y estaciones definidos por FMB. (Anexos: TRAZADOS_Y_VELOCIDADES_L1_L2_L3).
- Velocidades definidas por FMB.
- Tiempos de parada en estación de 20 segundos.
- Modo de conducción ATO, o simulación equivalente del modo ATO, respetando los tiempos de recorrido definidos por FMB.

- Escenario de red receptiva, considerando que la energía regenerada durante el frenado puede ser absorbida por la infraestructura de FMB.
- Prioridad del frenado regenerativo frente al frenado reostático, siempre que la tensión de línea sea inferior a la tensión de corte del frenado regenerativo definida por FMB.
- Tensión de corte del frenado regenerativo igual a la tensión nominal de la línea correspondiente más un 20%.
- Tensión máxima no permanente igual a la tensión nominal de la línea correspondiente más un 30%.
- Transición automática y progresiva a frenado reostático cuando la tensión de línea alcance la tensión de corte del frenado regenerativo o cuando existan limitaciones propias del equipo de tracción debidamente justificadas.

Los valores de tensión aplicables serán:

Tensión nominal de línea	Tensión de corte del frenado regenerativo	Tensión máxima no permanente
1.200 Vcc	1.440 Vcc	1.560 Vcc
-1.500 Vcc	-1.800 Vcc	-1.950 Vcc

Valores de referencia a ajustar en fase de proyecto (ver 1.6.2 Suministro de energía)

9.7.2 Recorrido de referencia y valores máximos de referencia

El Ofertante realizará una simulación de consumo energético de tracción de un tren que contemplará una vuelta completa, por ambas vías, de la línea 1, 2 y/o 3.

A efectos del presente criterio, los valores de consumo máximo permitido por vuelta completa, por ambas vías, serán los siguientes:

Lote	Línea	Recorrido de referencia	Consumo máximo permitido Cmax
Lote 1	L2	Vuelta completa por ambas vías	198 kWh

Lote	Línea	Recorrido de referencia	Consumo máximo permitido Cmax
Lote 2	L1	Vuelta completa por ambas vías	335 kWh
Lote 3	L3	Vuelta completa por ambas vías	275 kWh

Los valores anteriores se establecen como valores Cmax para la fórmula de puntuación del presente criterio y se basan en valores aproximados del consumo actual de referencia de FMB. El consumo ofertado por el licitador deberá expresarse en kWh netos por el mismo recorrido de referencia y bajo las condiciones comunes definidas en este apartado.

Se deberá ofertar, para cada lote y línea, el siguiente valor:

Consumo energético puntuable (C_i) = kWh netos.

Se entenderá por kWh netos la diferencia entre la energía tomada de línea y la energía devuelta a línea durante el recorrido de referencia.

Adicionalmente, el Adjudicatario en fase de proyecto deberá indicar los siguientes valores informativos:

- kWh netos/km.
- kWh netos/coche·km.
- Energía total tomada de la línea.
- Energía regenerada durante el frenado.
- Energía devuelta a la línea.
- Energía aprovechada internamente por el propio tren durante el frenado.
- Energía disipada en resistencias de frenado.
- Energía consumida por auxiliares.
- Energía consumida por tracción.
- Tensión de inicio de limitación del frenado regenerativo.

- Tensión de corte del frenado regenerativo.
- Tensión de transición a frenado reostático.
- Tensión máxima de línea considerada.
- Masa AW0 utilizada en el cálculo.
- Consumo equivalente calculado con la condición de masa definida en EN 50591 para trenes de viajeros, a efectos informativos y de trazabilidad normativa.
- Cálculo equivalente en escenario de disipación completa, a efectos informativos y de contraste.

9.7.3 Verificación mediante prueba tipo

El consumo energético ofertado deberá verificarse mediante prueba tipo en vía.

La prueba se realizará sobre el recorrido y velocidades de referencia definidos por FMB, en ambos sentidos de circulación.

El tren deberá estar en condición AW0, con una tolerancia máxima de $\pm 4\%$ respecto a la masa AW0 utilizada en la simulación de oferta.

El tren deberá encontrarse en estado normal de explotación, sin modos degradados y con configuración de software controlada.

Durante la prueba, el sistema de aire acondicionado de sala de pasaje deberá permanecer apagado.

La cabina activa deberá estar en condiciones normales de conducción.

La cabina no activa deberá permanecer con el aire acondicionado apagado.

El ensayo deberá repetirse hasta tres veces por sentido, salvo que FMB acepte expresamente un número inferior de recorridos.

No serán válidos los recorridos afectados por señales restrictivas no previstas, paradas no previstas, incidencias de conducción, modos degradados, fallos de tracción, freno o auxiliares, o cualquier otra circunstancia que altere de forma significativa el perfil de velocidad o el tiempo de recorrido.

9.7.4 Instrumentación mínima de ensayo

La instrumentación utilizada deberá estar calibrada o certificada.

Durante la prueba se deberán registrar, como mínimo, los parámetros indicados a continuación.

- Energía eléctrica tomada de la línea.
- Energía eléctrica devuelta a la línea.
- Energía regenerada durante el frenado.
- Energía disipada en resistencias de frenado.
- Tensión de línea.
- Corriente tomada de línea.
- Corriente regenerada.
- Velocidad del tren.
- Distancia recorrida.
- Posición del tren.
- Tiempos de salida, llegada y parada.
- Estado del sistema de aire acondicionado de sala de pasaje.
- Estado del sistema de aire acondicionado de cabina no activa.
- Estado de los equipos auxiliares principales.
- Masa real del tren durante el ensayo.
- Configuración de software del tren.
- Temperatura ambiente.
- Incidencias u observaciones de ensayo.

La prueba será válida únicamente si se cumplen las siguientes tolerancias:

- Masa del tren: $\pm 4\%$ respecto a la masa AW0 utilizada en la simulación.
- Tiempo de parada: ± 5 s respecto al tiempo definido.
- Sistema de aire acondicionado de sala de pasaje apagado durante todo el ensayo.

- Sistema de aire acondicionado de cabina no activa apagado durante todo el ensayo.
- Cabina activa en condiciones normales de conducción durante todo el ensayo.
- Ausencia de modos degradados durante todo el ensayo.

9.7.5 Tratamiento posterior de resultados

El tratamiento posterior de resultados se limitará a los casos expresamente indicados en este apartado.

No se permitirá tratamiento posterior por diferencias en:

- Masa del tren fuera de tolerancia.
- Resistencia al avance del tren.
- Rendimiento de la cadena de tracción.
- Consumo real de auxiliares.
- Estrategia de conducción no conforme.
- Tiempos de recorrido fuera de tolerancia.
- Modos degradados.
- Configuración de software distinta a la declarada.

FMB podrá aceptar tratamiento posterior únicamente en los siguientes casos:

- Diferencia entre la tensión de línea simulada y la tensión de línea medida.
- Temperatura ambiente distinta de la definida para la simulación.
- Diferencias de receptividad de red en corriente continua, únicamente cuando FMB determine que durante el ensayo no se ha reproducido el escenario de red receptiva definido para la valoración.

En estos casos, el tratamiento posterior consistirá exclusivamente en repetir la simulación con el mismo modelo de tren presentado en la oferta, introduciendo únicamente las condiciones reales medidas durante el ensayo.

No se permitirá modificar el modelo de tren para ajustar el resultado.

El tratamiento posterior deberá ser aprobado por FMB.

9.7.6 Resultado de verificación

El consumo energético verificado será el valor medio de los recorridos válidos realizados, expresado en kWh netos por recorrido de referencia.

El informe final de verificación deberá comparar:

- Consumo ofertado.
- Consumo simulado con condiciones de oferta.
- Consumo medido en prueba.
- Desviación en kWh.
- Datos en bruto medidos durante las pruebas tipo.

10 INGENIERIA, FABRICACIÓN Y PRUEBAS

Las fases clave del proyecto deberán estructurarse conforme al ciclo de vida del proyecto definido en el presente apartado, con objeto de ordenar de forma clara las actividades de ingeniería, validación, fabricación, pruebas, puesta en marcha, entrada en servicio y garantía.

A efectos del presente Pliego, se entenderá por fase de proyecto el periodo comprendido entre la firma del contrato y la recepción definitiva del tren.

La fase de proyecto incluirá, como mínimo, las actividades de inicio del contrato, propuesta documental inicial, consolidación de requisitos, diseño preliminar, ingeniería de detalle, validaciones técnicas, maquetas, industrialización, fabricación, integración, ensayos tipo, ensayos serie, pruebas en vía, puesta en marcha y preparación de la entrada en servicio comercial.

Cuando en el presente Pliego se utilice la expresión “fase de proyecto” sin mayor precisión, deberá entenderse referida al conjunto de actividades anteriormente indicadas. No obstante, siempre que se establezca el cumplimiento de una obligación concreta en una fase específica se deberá dar cumplimiento en la fase indicada.

Los plazos aquí expresados son en meses naturales desde la firma del contrato, salvo que en el contrato se indique expresamente otro criterio de cómputo.

La mera entrega documental, fabricación física, traslado de una unidad o finalización interna de una actividad por parte del Adjudicatario no generará por sí solo derecho a facturación si no se ha producido

la validación, aceptación o acta correspondiente por parte de FMB, de acuerdo con lo establecido en el contrato.

- Fase 0. Inicio del contrato. Mes 0 desde la firma del contrato

Esta fase se corresponde con el inicio contractual del proyecto y servirá como base para el desarrollo de las fases posteriores.

- Fase 1. Propuesta documental inicial. Máximo dos (2) meses desde la firma del contrato

Al inicio del contrato y, en todo caso, en un plazo máximo de un (1) mes desde la firma del contrato, el Adjudicatario deberá haber entregado a FMB la propuesta documental inicial para su revisión.

Esta documentación tendrá por objeto permitir a FMB verificar que la solución ofertada queda correctamente trasladada a la documentación técnica inicial del proyecto y que resulta coherente con el presente Pliego y con el resto de documentación contractual.

FMB dispondrá de un plazo de dos (2) semanas para revisar dicha documentación y aprobarla, aprobarla con comentarios o requerir su revisión, si no se cumple con lo especificado en el presente Pliego.

En caso de que la propuesta documental no sea aprobada por FMB en el plazo indicado, el Adjudicatario dispondrá de un plazo de una (1) semana para presentar una nueva versión que incorpore las actualizaciones solicitadas por FMB. En caso de no cumplir con las actualizaciones solicitadas en el plazo indicado, la documentación no será aprobada por FMB.

FMB dispondrá de un plazo de una (1) semana para revisar dicha documentación y aprobarla. Si, una vez transcurridos los plazos indicados, la propuesta documental no hubiera sido aprobada por FMB, se considerará como no formalizado el contrato, sin que el Adjudicatario inicial tenga derecho a indemnización ni compensación alguna por ningún concepto, reservándose FMB el derecho a reclamar la indemnización que corresponda. Asimismo, se procederá a adjudicar el contrato al licitador siguiente clasificado, previa presentación de la documentación exigida en la cláusula correspondiente del PCP.

La documentación se entregará en formato informático PDF.

El Adjudicatario entregará, como mínimo, la documentación de justificación siguiente:

- Descripción general del tren, incluyendo sus equipos y subsistemas.
- Relación de los principales proveedores y sus fabricantes.

- Documentación detallada para transformación de cabina a GOA4 (planos, modelado 3D, tiempos, etc.).
- Documentación justificativa de la capacidad:
 - Plano de capacidad por coche y por tren completo, con identificación gráfica de las superficies incluidas y excluidas del cálculo.
 - Tabla resumen con viajeros sentados, superficie útil de viajeros de pie, capacidad AW2, AW3 y AW4, y capacidad total del tren.
 - Plano de disposición interior, indicando asientos, zonas PMR, zonas multifuncionales, asideros, mamparas, armarios técnicos, cofres, equipos y canalizaciones principales.
 - Justificación expresa de que la capacidad ofertada se obtiene dentro del contorno de referencia de este Pliego y sin afección desfavorable al gálibo, accesibilidad, evacuación, seguridad, mantenibilidad, ergonomía o funcionalidad del tren.
- Documentación detallada de la instalación del Sistema de detección de descarrilo.
- Documentación técnica CBM.
- Lista sustancias candidatas extremadamente preocupantes que el Adjudicatario se compromete a no utilizar.
- Justificación según ISO 21106:
 - Reciclabilidad: 94%.
 - Recuperabilidad: 96%.
- Justificación del peso total del tren:
 - Lote 1: Trenes L2 y L4: 153.000 Kg.
 - Lote 2: Trenes L1: 158.000 Kg.
 - Lote 3: Trenes L3: 153.000 Kg.
- Justificación cálculo de consumo energético.
- Justificación cálculo del coste de ciclo de vida (LCC).
- Informe de justificación del cálculo de la fiabilidad.

- Informe de justificación del cálculo de la disponibilidad.
- Justificación % materiales fabricados fuera de la Unión Europea.
- Planificación detalle proceso de fabricación.
- Organigrama del equipo de proyecto.
- Plan de validación de la ingeniería de proyecto y pruebas:
 - Cronograma de entregables técnicos y presentaciones (planos, esquemas, listas de materiales, manuales...).
 - Metodología de revisión y validación de diseño (estructural, eléctrico, software, funcional).
 - Identificación de puntos de control críticos (hold points), maqueta virtual, maqueta física,...
 - Procedimiento de revisión y resolución de comentarios: software de intercambio de documentación con workflows de aprobación y trazabilidad.
- Descripción detallada del sistema de engrase de pestañas embarcado.

La aprobación de esta documentación no supondrá la aprobación definitiva de la ingeniería del tren ni de sus subsistemas.

➤ Fase 2. Ingeniería de proyecto

En esta fase se definirá la arquitectura general del tren y de sus principales subsistemas, así como la estrategia de verificación y validación de requisitos. Se iniciará una vez finalice la Fase 1.

El Adjudicatario deberá presentar a FMB, para su revisión, la matriz de cumplimiento de requisitos, la arquitectura funcional del tren, la arquitectura eléctrica, neumática, mecánica, software y de comunicaciones, las principales interfaces con los equipos aportados por FMB y la estrategia de integración con infraestructura, señalización, ATP/ATO, Tren-Stop, comunicaciones tren-tierra, Digital Train, CBM y demás sistemas embarcados.

- Fase 2.1. Diseño preliminar.

En un plazo máximo de seis (6) meses naturales desde la firma del contrato, el Adjudicatario deberá presentar a FMB el diseño preliminar del tren y de sus principales subsistemas para su revisión y validación.

Esta fase tendrá por objeto validar la solución técnica principal antes del desarrollo completo de la ingeniería de detalle.

El diseño preliminar incluirá, como mínimo, la arquitectura funcional, eléctrica, neumática, mecánica, software y de comunicaciones; la integración de los equipos aportados por FMB; la solución de gálibos y compatibilidad con infraestructura; la distribución interior; accesibilidad; ergonomía; mantenibilidad; seguridad ferroviaria; ciberseguridad; RAMS; CBM; telemonitorización; interfaces tren-tierra; criterios de pruebas; y criterios de puesta en servicio.

FMB dispondrá de un plazo máximo de dos (2) meses para revisar y validar el diseño preliminar, aprobarlo con comentarios o requerir las actualizaciones que correspondan.

La validación del diseño preliminar por parte de FMB no supondrá la aprobación definitiva de la ingeniería de detalle, sino la aceptación de la solución técnica principal para continuar con el desarrollo del proyecto.

- Fase 2.2. Maquetas y validaciones de diseño.

El Adjudicatario, como máximo a los nueve (9) meses desde la firma del contrato, entregará una maqueta de realidad virtual 3D de la cabina de conducción y de la sala de pasaje. A nivel interior de sala de pasajeros, dicha maqueta deberá mostrar, como mínimo, las tres zonas principales: zona de asientos, zona para silla de ruedas y zona de espacio multifuncional.

El Adjudicatario deberá suministrar los equipos necesarios para poder realizar y visualizar dicha simulación, incluyendo gafas de realidad virtual, PC, maqueta, software o cualquier otro elemento necesario.

La maqueta virtual deberá ser validada por FMB en un plazo máximo de un (1) mes desde la fecha de presentación oficial. La validación de dicha maqueta podrá incluir solicitudes de rediseño que deberán ser tenidas en cuenta en la maqueta física.

Durante la fase de proyecto y, como máximo, en quince (15) meses naturales desde la firma del contrato, el Adjudicatario entregará una maqueta del tren a tamaño real. La maqueta real no podrá fabricarse hasta que la maqueta virtual haya sido validada por FMB, salvo autorización expresa de FMB.

La aceptación por FMB de la maqueta virtual y de la maqueta real constituirá el hito técnico asociado al correspondiente hito de facturación, siempre que se hayan resuelto las observaciones bloqueantes que FMB pudiera formular

- Fase 2.3. Ingeniería de detalle.

En un plazo máximo de quince (15) meses naturales desde la firma del contrato, el Adjudicatario deberá presentar a FMB la ingeniería de detalle del tren y de sus subsistemas para su revisión y validación.

La ingeniería de detalle comprenderá el desarrollo completo de la documentación técnica necesaria para fabricación, integración, ensayos, operación y mantenimiento.

La ingeniería de detalle incluirá, como mínimo, planos, esquemas, cálculos, listas de materiales, documentación de interfaces, documentación de software, documentación RAMS, documentación de seguridad ferroviaria, documentación de ciberseguridad, documentación de mantenibilidad, documentación de fabricación, procedimientos de ensayo, protocolos de pruebas, criterios de aceptación y justificaciones técnicas de cumplimiento del presente Pliego.

La validación de la ingeniería de detalle por parte de FMB será condición previa para el inicio de las actividades de fabricación o integración que dependan directamente de dicha ingeniería, salvo autorización expresa de FMB.

➤ Fase 4. Visado del proyecto.

Como máximo a los veinte (20) meses naturales desde la firma del contrato de cada lote, el Adjudicatario deberá presentar el visado del proyecto ante el Colegio de Ingenieros Industriales, como requisito previo para la obtención de la autorización de entrada en servicio comercial emitida por la Autoridad Ferroviaria competente.

El visado del proyecto deberá basarse en la documentación de diseño preliminar validada, la ingeniería de detalle aplicable y las justificaciones técnicas necesarias para acreditar el cumplimiento de la normativa, del presente Pliego y del resto de documentación contractual.

El Adjudicatario deberá entregar a FMB copia de la documentación visada en los términos establecidos contractualmente.

➤ Fase 6. Fabricación e integración.

Comprende la fabricación de cajas, bogies, equipos, subsistemas y trenes, así como su montaje, cableado, instalación de equipos, integración funcional, integración software, integración de redes, verificación de interfaces y controles de fabricación.

Dentro de esta fase se incluirán los hitos físicos de fabricación definidos contractualmente, tales como la fabricación de cajas, montaje de subsistemas, integración del tren, finalización de trabajos en fábrica y demás hitos verificables establecidos en el contrato.

El Adjudicatario deberá mantener actualizado el planning de fabricación y permitir a FMB realizar las inspecciones, controles y seguimientos previstos en el presente Pliego.

➤ Fase 7. Final de fábrica y ensayos en fábrica.

Comprende la finalización de los trabajos de fabricación, montaje, integración y ensayos de fábrica que resulten necesarios para considerar el tren o trenes afectados en condiciones de ser puestos a disposición de FMB para las fases posteriores.

La aceptación del final de fábrica estará condicionada a la superación de las inspecciones, ensayos, verificaciones y controles aplicables, así como a la entrega de la documentación correspondiente y a la resolución de las no conformidades bloqueantes que pudieran existir.

Se da por finalizada esta fase con la firma del acta de expedición de cada tren por parte de FMB.

➤ Fase 8. Tren prototipo, ensayos tipo y validación del diseño.

Comprende la fabricación, integración y entrega del primer tren representativo o tren prototipo, así como la ejecución de los ensayos tipo de subsistemas y tren completo.

Esta fase tendrá por objeto demostrar que el diseño, las prestaciones, la fabricación, la integración y el comportamiento funcional cumplen los requisitos del presente Pliego.

Los procedimientos de ensayo deberán ser previamente validados por FMB. Los resultados de los ensayos deberán ser presentados a FMB para su revisión y aceptación.

Las desviaciones, no conformidades o incumplimientos detectados durante esta fase deberán ser corregidos por el Adjudicatario a su coste, sin perjuicio de las consecuencias contractuales que pudieran corresponder.

➤ Fase 9. Pruebas serie

Cada tren deberá superar satisfactoriamente las pruebas serie y controles definidos antes de su traslado, puesta a disposición de FMB o inicio de pruebas en vía.

La aceptación de un tren estará condicionada a la superación de las pruebas, inspecciones y verificaciones aplicables, así como a la entrega de la documentación correspondiente.

➤ Fase 10. Pruebas en vía, integración con infraestructura y puesta en marcha

Comprende las pruebas dinámicas, pruebas en vía FMB y pruebas de integración con la infraestructura y sistemas de FMB. Para el inicio de esta fase el Adjudicatario deberá entregar el dossier de seguridad

de diseño completo (Informe de “safety case” de diseño, apartado 4.5.9) y validado per FMB y con el correspondiente informe favorable ISA.

Esta fase incluirá, como mínimo, la validación de compatibilidad con vía, alimentación eléctrica, gálibos, andenes, señalización, ATP/ATO, Tren-Stop, comunicaciones tren-tierra, sistemas embarcados, telemonitorización, CBM, Digital Train y demás sistemas necesarios para la explotación del tren.

Esta fase finalizará con la aceptación por FMB y la obtención del acta de entrega y la autorización para circular de la Generalitat. Durante la entrada progresiva en servicio comercial una vez obtenida el acta de entrega de la autorización para circular de la Generalitat, el Adjudicatario deberá prestar el acompañamiento técnico inicial requerido por FMB, resolver las incidencias de puesta en servicio, dar soporte a la explotación y mantenimiento, y completar las actuaciones necesarias para estabilizar el funcionamiento de las unidades.

➤ Fase 11. Entrada en servicio comercial, recepción provisional.

Una vez superadas las pruebas requeridas, se procederá a entrada en servicio comercial de cada unidad, de acuerdo con las condiciones establecidas.

El inicio de la garantía se verá supeditado a la obtención de la recepción provisional según lo indicado en el Anexo A “2.2 RECEPCIÓN PROVISIONAL” de esta licitación.

➤ Fase 12. Garantía, fiabilización y soporte

Comprende el periodo de garantía contractual, el seguimiento de la fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los trenes, la corrección de averías, defectos, no conformidades y desviaciones, la implantación de actualizaciones necesarias, el soporte técnico a FMB, la gestión de repuestos, la gestión de obsolescencia y la consolidación de las funcionalidades de monitorización y mantenimiento basado en condición.

Durante esta fase, el Adjudicatario deberá mantener los recursos técnicos necesarios para dar respuesta a las incidencias, analizar las causas raíz, implantar medidas correctoras y preventivas, y asegurar el cumplimiento de los valores de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y coste de ciclo de vida establecidos contractualmente.

➤ Fase 13. Simuladores, CBM, formación y transferencia a explotación y mantenimiento.

Comprende la entrega, validación y puesta a disposición de FMB de los simuladores, sistemas de formación, plataforma CBM, documentación didáctica, herramientas de soporte, materiales formativos y demás elementos necesarios para la transferencia efectiva del conocimiento a los equipos de operación, mantenimiento, ingeniería y soporte de FMB.

Esta fase podrá solaparse parcialmente con las fases de puesta en marcha y garantía, siempre que se respeten los plazos contractuales y que los entregables sean aceptados por FMB.

➤ Fase 14. Cierre del proyecto y recepción definitiva.

Comprende el cierre técnico, documental y contractual del proyecto, la entrega de documentación final, la actualización de manuales, planos, software, configuraciones y listas de repuestos, el cierre de pendientes, la transferencia definitiva a operación y mantenimiento y la recepción definitiva cuando corresponda.

La recepción definitiva estará condicionada al cumplimiento de los requisitos contractuales, técnicos, fiabilidad, disponibilidad, documentales, RAMS, garantía, formación, repuestos, soporte y cierre de pendientes que resulten aplicables (Ver Anexo A “2.7 RECEPCIÓN DEFINITIVA”).

La estructura anterior de fases de proyecto tiene carácter orientativo y se establece a efectos de ordenación, seguimiento y control del proyecto. El Adjudicatario podrá proponer una organización alternativa de los trabajos, siempre que dicha propuesta sea justificada, resulte compatible con la planificación general del suministro, sea aceptada por FMB y respete en todo caso los hitos contractuales, documentales, técnicos y de facturación, así como los plazos y fechas de entrega definidos en el presente Pliego, en el Pliego de Condiciones Particulares y en el resto de documentación contractual.

10.1 INGENIERÍA, FABRICACION, PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA

Durante la fase de fabricación, el Adjudicatario deberá:

- Garantizar la trazabilidad de materiales y componentes críticos,
- Permitir el acceso a las instalaciones de producción a FMB o terceros designados,
- Notificar y coordinar las auditorías y controles de calidad,
- Aplicar un Plan de Control de Producción, validado previamente por FMB, que incluya procesos como:
 - Soldadura y mecanizado,
 - Ensamblaje eléctrico y neumático,
 - Montaje de bogies, puertas, cabina, interiorismo,
 - Ensayos en taller.

El Adjudicatario deberá presentar y ejecutar un Plan de Ensayos, compuesto por:

- Ensayos de tipo, en el primer tren (estructura, freno, clima, EMC, seguridad, etc.),
- Ensayos de serie, en cada tren fabricado (funcionales, dinámicos, seguridad),
- Ensayos en presencia de FMB, con informe final de resultados.

Todos los procedimientos de ensayo deberán ajustarse a normativas europeas vigentes (EN, ISO, IEC, etc.) y ser validados por FMB antes de su ejecución.

Cada tren deberá superar satisfactoriamente:

- Pruebas en vía, en condiciones reales de carga y explotación,
- Validación de compatibilidad con la infraestructura (alimentación, gálibos, andenes, señalización, ATP...),
- Comprobación de integración de todos los sistemas embarcados.

10.2 PERSONAL DEL ADJUDICATARIO.

Será obligación del Adjudicatario presentar a FMB, antes de un (1) mes desde la firma del contrato, el organigrama general del personal que empleará en el Proyecto.

Se requerirá de un equipo de proyecto formado como mínimo por:

- Director de Proyecto: Será el responsable máximo de la ejecución global del contrato. Dirigirá y coordinará todas las actividades del proyecto, asegura el cumplimiento de plazos, costes, calidad y requisitos contractuales. Actuará como interlocutor principal con FMB.
- Responsable de Ingeniería del proyecto: Supervisará el diseño técnico del tren y sus subsistemas. Coordinará la elaboración de documentación técnica, asegurará la integración funcional y compatibilidad de interfaces. Garantizará el cumplimiento de especificaciones y normativa aplicable.
- Responsable de Calidad del proyecto: Definirá y controlará el Plan de Calidad del Proyecto. Supervisará la conformidad de los procesos de fabricación, validación y pruebas. Gestionará las no conformidades y el aseguramiento de la calidad de suministros y subcontratistas.
- Responsable de CBM (Mantenimiento Basado en Condición): Liderará la definición, implementación y validación del sistema CBM del tren. Coordinará la sonorización, análisis de

datos y estrategias predictivas. Asegurará la integración de los sistemas de monitorización con los requisitos de mantenimiento optimizado.

- Responsable de Validación y pruebas del proyecto: Será el encargado de coordinar las actividades de integración de sistemas y subsistemas en el vehículo. Supervisará la validación funcional, técnica y de seguridad, tanto en fase de Ingeniería como en las pruebas de validación en el tren. Organizará y dirigirá las pruebas de subsistemas, pruebas estáticas y dinámicas del tren. Asegurará el cumplimiento del plan de ensayos, gestión de resultados, validación de requisitos.
- Responsable de Planificación: Desarrollará y mantendrá el cronograma/Planning del proyecto. Controlará y actualizará los hitos, la secuencia lógica de actividades, recursos y desviaciones. Realizará las actualizaciones periódicas de la planificación.
- Responsable de Garantía del proyecto: Supervisará el cumplimiento de las condiciones de garantía técnica y contractual. Gestionará las incidencias durante el periodo de garantía, coordina la atención postventa y el suministro de repuestos. Es responsable de los indicadores de fiabilidad y disponibilidad. Será el interlocutor con FMB en fase de Garantía.

Estos perfiles mencionados aportarán una experiencia demostrable en proyectos ferroviarios, no menor a 10 años para los Director de Proyecto, el Responsable de Ingeniería del Proyecto, Calidad y Garantía y para el resto un mínimo de 5 años.

Todo el equipo presentado deberá ser aprobado por FMB. Si durante el proyecto hay cambios en el equipo, sus sustituciones tendrán que cumplir los mismos requerimientos de este pliego y ser aprobados por FMB.

10.2.1 Organigrama detallado

El Adjudicatario presentará antes de un (1) mes desde la firma del contrato, el organigrama de la organización para el control de la fabricación de los conjuntos, subconjuntos, pruebas/puesta en marcha y garantía.

En este organigrama se detallará, para cada una de las personas designadas, su cualificación profesional y una relación de los últimos trabajos realizados.

10.2.2 Intercambio de documentación y comunicaciones de proyecto

Durante toda la ejecución del contrato, el Adjudicatario deberá garantizar un sistema organizado y trazable de entrega de documentación técnica y comunicaciones oficiales, conforme a los siguientes principios:

- Plataforma de gestión documental
 - El Adjudicatario deberá proponer el uso de una plataforma digital (propia o de terceros) para el intercambio documental.
 - Toda la documentación deberá estar estructurada e identificarse con un código normalizado, indicar número de versión y fecha, y estar disponible en:
 - Formato editable
 - Y formato PDF con firma digital si aplica.
- Control de entregas
 - Cada documento técnico (planos, manuales, protocolos de prueba, informes...) será objeto de revisión y validación por parte de FMB.
 - Se deberá mantener una trazabilidad completa de revisiones, observaciones y respuestas.
- Canales de comunicación
 - Las comunicaciones formales del proyecto se realizarán por escrito, a través del sistema definido, o mediante correo electrónico corporativo con copia al interlocutor técnico designado por FMB.
- Registro y archivo
 - Toda la documentación y comunicaciones intercambiadas durante el contrato deberán archivar de forma organizada, accesible y con respaldo, durante toda la vida del contrato y garantía.
 - El Adjudicatario deberá asegurar que FMB podrá acceder a toda la documentación del proyecto en todo momento y realizar descargas, en caso necesario masivas, de dicha documentación.

10.3 APROBACIÓN DEL PROYECTO E INSPECCIÓN DE LA FABRICACIÓN

Los ensayos en vía de los trenes asignados a L1 de FMB se realizarán en las instalaciones de FMB según restricciones especificadas en este pliego.

Los proyectos de los trenes tendrán que ser necesariamente aprobados por FMB, aunque esta aprobación no eliminará la plena responsabilidad del Adjudicatario respecto al proyecto. El

Adjudicatario será totalmente responsable de los errores u omisiones que puedan existir, tanto en la confección y cálculos como en los materiales elegidos, así como con referencia al cumplimiento de los Pliegos de Condiciones y al buen funcionamiento de los trenes.

Se someterá a FMB para su aprobación, toda la documentación técnica de construcción, relativa al vehículo y sus partes, de modo que FMB pueda adquirir una idea perfectamente clara del vehículo que se va a construir y sus componentes.

Para facilitar la labor de aprobación del proyecto y posterior verificación de la construcción, FMB podrá desplazar a las diversas factorías del Adjudicatario, a uno o varios de sus técnicos o personal de una entidad inspectora como representante de FMB, con carácter permanente, para lo cual el Adjudicatario pondrá a su disposición un lugar de trabajo debidamente climatizado, con todas las facilidades necesarias para poder desarrollar la labor encomendada por FMB viniendo obligado a facilitar esta labor. Incluyendo una conexión Wi-fi de alta velocidad, teléfono, impresora con conexión remota sin necesidad de conexión local tipo USB, pantalla de visualización de datos, además de todo el mobiliario y material de oficina y consumibles necesarios, con los accesorios de uso común en oficina que le sean requeridos por FMB y bajo su aprobación. Así mismo, el Adjudicatario facilitará como mínimo 3 plazas reservadas de aparcamiento para coche, dentro de las instalaciones de fabricación lo más cerca posible del lugar de trabajo destinado para FMB.

La misión principal de los técnicos de FMB o sus representantes, en esta fase será la de seguimiento y participación en su caso, de la elaboración del Proyecto y de las pruebas y ensayos que el Adjudicatario deberá realizar para comprobar que el Proyecto responde a las exigencias del servicio a prestar.

FMB aprobará o rechazará la documentación y materiales sometidos a aprobación por el Adjudicatario, en el plazo máximo de dos meses desde su recepción.

La corrección de todos los errores u omisiones que se pongan de manifiesto en la aprobación de planos y cálculos será obligatoria para el Adjudicatario, tanto sobre la documentación como sobre los propios vehículos.

FMB no considerará efectuada la entrega de las unidades y por tanto no efectuará recepción provisional ni definitiva, a ningún vehículo al que falte realizar las correcciones en cuestión.

FMB efectuará la inspección del proyecto, fabricación, pruebas, ensayos y todo aquello que considere oportuno, por medio de técnicos inspectores que libremente designará entre su personal o fuera de él. Tal inspección no comprometerá a FMB ni liberará total, o parcialmente al Adjudicatario de la plena y exclusiva responsabilidad sobre la calidad, prestaciones y condiciones del proyecto. El Adjudicatario, queda obligado a establecer un plan de calidad y un plan de control de calidad, tanto para la recepción

de materiales, como para la fabricación, pruebas y puesta en marcha de los trenes, que será entregada a FMB para su aprobación y seguimiento.

El Adjudicatario dará al servicio de inspección de FMB toda clase de facilidades para el desempeño de su cometido, permitiendo el libre acceso y libre movilidad a todas las instalaciones del Adjudicatario y subcontratistas de este. Pudiendo desempeñar esta función sin necesidad de comunicar o informar de los movimientos dentro de sus instalaciones con anterioridad, al personal del Adjudicatario. Para ello el Adjudicatario informará de todo lo relevante al respecto de las normas de prevención de riesgos laborales y su cumplimiento, pero en ningún momento lo supeditará a la espera de la inspección, o a tener que ir acompañado por algún miembro del Adjudicatario. Esto es válido, tanto en sus propios talleres, como en los de otras fábricas que elaboren materiales o elementos para los trenes, poniendo a su libre disposición todos los datos precisos para llegar al conocimiento de la calidad de los productos, así como las pruebas y ensayos a que debe someterse el material para demostrar a priori que cumple las especificaciones, sin coste alguno para FMB.

10.3.1 Inspección y pruebas durante la fabricación

El Adjudicatario, en fase de Ingeniería de proyecto entregará a FMB, para su aprobación, un Plan de Inspecciones, Pruebas y Ensayos a realizar en los trenes a fabricar. Este plan también contemplará las pruebas tipo de los equipos principales sin montar en el tren, de los equipos principales montados en el tren y del tren en su conjunto, las inspecciones de primer artículo (FAI), en casa de los suministradores, ensayos en laboratorios externos e inspecciones de primer montaje (IPM), de cualquier componente del tren en fábrica del Adjudicatario. En ningún caso se podrán sobreponer unas sobre otras, sin la autorización expresa de FMB.

FMB deberá dar su conformidad al Plan de Pruebas y ensayos, tanto tipo como serie y, en su caso, a las hojas de control y protocolos específicos de cada una de las pruebas.

Es responsabilidad del Adjudicatario llevará a cabo las pruebas pertinentes durante todas las fases del Proyecto para asegurar la funcionalidad, la calidad de fabricación y la adecuada integración de cada uno de los sistemas y equipos del vehículo. Estas pruebas deberán cumplir rigurosamente con los requisitos establecidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas.

Para el proceso de desarrollo del tren, la validación de los requisitos se realizará a través de pruebas y/o cálculos, las cuales se fundamentarán en la estructura del Plan de Pruebas.

Todas las pruebas estarán condicionadas a las características específicas de los equipos y materiales que resulten elegidos en fase de proyecto.

Se realizarán ensayos tipo para verificar la calidad del vehículo, de acuerdo con este pliego y servicio a prestar, comprobando que el proyecto, proceso de fabricación y las prestaciones del tren o de los equipos, son correctos.

Los ensayos tipo se efectuarán sobre el primer elemento representativo de la serie.

FMB se reserva el derecho de solicitar la realización de los ensayos tipo en el 1% como mínimo de elementos de la serie. Sin coste adicional para FMB.

Siempre que exista algún cambio en el proceso de fabricación, diseño o un cambio de centro de producción, el Adjudicatario está obligado a comunicarlo a FMB para su aprobación previa, y se realizarán de nuevo dichas pruebas tipo. Se realizarán pruebas tipo específicas en todas las líneas atendiendo a las diferentes especificidades de cada una de ellas.

Los ensayos serie representarán una parte de los de tipo, se realizarán para comprobar las características que puedan sufrir actualizaciones durante la fabricación y se efectuarán sistemáticamente sobre todas las piezas.

Los ensayos tipo y serie, se refieren tanto a materiales y elementos, como a conjuntos, subconjuntos, además de componentes y equipos principales montados en el tren y el propio tren.

En el proyecto deberá tenerse en cuenta la posibilidad de introducir fácilmente las actualizaciones que se deriven del ensayo tipo. Estos ensayos se realizarán en la primera unidad de la serie con el objeto de validar el diseño de las mismas, pudiendo realizarse estos ensayos en unidades posteriores previa aprobación por parte de FMB.

Si un ensayo serie del tren, de uno de sus componentes o equipos principales, no fuese satisfactorio, deberá ser rechazado. No pudiendo seguir el flujo productivo hasta subsanarse el error o ser sustituido por otro correcto.

En el sitio, áreas de trabajos, o en los talleres de fabricación de los Equipos y Materiales, el personal que FMB designe y sus respectivos representantes podrán, sin estar obligados a ello, inspeccionar, examinar y comprobar todos los materiales, al igual que verificar el avance de la fabricación, la calidad y la conformidad con las Especificaciones Técnicas de todos los Equipos y Materiales que deberán ser proporcionados de acuerdo con este Pliego. Si la fabricación de esos Equipos y Materiales se realiza en instalaciones pertenecientes a terceros distinto del Adjudicatario, el Adjudicatario deberá obtener el acceso a esas instalaciones para FMB, el personal que éste designe y sus respectivos representantes, de manera que éstos puedan realizar las inspecciones, exámenes y pruebas antes mencionadas. Ninguna de dichas inspecciones, exámenes o pruebas eximirá al Adjudicatario del cumplimiento de sus obligaciones conforme a este Pliego. Todas las inspecciones y pruebas serán de 8h a 17 horas, excepto

aquellas que sean imperativamente necesarias de realizar en las instalaciones de FMB y necesiten acceso a la línea principal.

La Inspección de FMB estará en el derecho de rechazar el elemento, componente o equipo del suministro construido fuera de control. FMB deberá ser avisada inmediatamente, ante todos los acontecimientos que, por su propia naturaleza, tiendan a modificar el desarrollo previsto de las operaciones o puedan retrasar la entrega.

Los agentes encargados de la inspección podrán hacer todas las verificaciones necesarias para asegurarse que las especificaciones técnicas, requerimientos de calidad, normas necesarias, para los materiales, componentes, equipos principales o trenes, son respetadas. Los agentes encargados de la inspección podrán suspender o parar cualquier trabajo que les parezca que no se realiza según lo indicado anteriormente. El ejercicio de la supervisión deja enteramente la responsabilidad al Adjudicatario y no limita el derecho de FMB para rechazar los materiales, componentes, equipos principales o trenes defectuosos o incompletos, sin coste alguno para FMB.

10.3.2 Plazos e información a suministrar previos a pruebas tipo e inspecciones del primer artículo (FAIs).

Con al menos un (1) mes de antelación el Adjudicatario deberá suministrar a FMB la información sobre:

- El lugar de cada una de las pruebas.
- La fecha.
- Especificación Técnica y funcional del elemento o equipo a ensayar.
- El protocolo de la prueba.
- Los criterios de aceptación correspondiente a dicha prueba de acuerdo con las Especificaciones Técnicas.
- Confirmación que las normas que apliquen y se vayan a utilizar, hayan sido entregadas a FMB con dos meses de antelación.
- El personal y experiencia del Adjudicatario que asistirá, bajo la aprobación de FMB.
- Plan de viaje previsto.

10.3.3 Plazos e información a suministrar previos a inspecciones, pruebas serie y/o ensayos

El Adjudicatario confirmará la fecha de las pruebas o inspecciones a FMB con al menos quince (15) días hábiles de antelación. FMB notificará al Adjudicatario, su intención de presenciar o no esas pruebas, inspecciones o ensayos, o solicitará que se pospongan a una nueva fecha a acordar entre FMB y el Adjudicatario en base a la disponibilidad del personal de FMB, sin coste alguno para FMB.

FMB y/o el personal que éste designe y sus respectivos representantes y asesores podrán presenciar esas pruebas. El Adjudicatario le enviará como máximo un (1) día hábil después a FMB una copia certificada de los resultados de toda prueba o inspección realizada, firmada digitalmente.

10.3.4 Revisión preventiva previa al traslado de trenes no finalizados o en fase de pruebas

Cuando un tren, coche, subsistema o conjunto ferroviario deba ser trasladado a instalaciones de FMB sin encontrarse completamente finalizado, validado o en su configuración definitiva de servicio, el Adjudicatario deberá realizar, con carácter previo al traslado, una revisión preventiva específica de los riesgos asociados a su estado real de fabricación, integración, pruebas y puesta en marcha.

Dicha revisión será realizada por el servicio de prevención del Adjudicatario, o por entidad preventiva competente designada por éste, y tendrá por objeto identificar los riesgos existentes para el personal de FMB, personal subcontratado por FMB y personal del propio Adjudicatario que pueda intervenir en el tren dentro de instalaciones de FMB, incluyendo como mínimo actividades de acceso, inspección, conducción, pruebas, mantenimiento, diagnosis, limpieza, maniobras, acoplamiento/remolcado, energización, trabajos en cabina, sala de pasaje, techo, bajos, cofres, armarios, bogies, testers, pasos entre coches y cualquier otra zona accesible o intervenible.

La revisión deberá incluir un checklist documentado de factores de riesgo, tomando como referencia mínima las disposiciones preventivas aplicables a la utilización segura de equipos de trabajo, en particular atrapamientos, golpes, cortes, caídas al mismo o distinto nivel, caída de objetos, contactos eléctricos, contactos térmicos, partes móviles, elementos sin protección definitiva, accesos provisionales, aristas vivas, huecos, resbalamientos, falta de iluminación, ausencia de señalización, consignación de energías, riesgos neumáticos, hidráulicos, mecánicos, eléctricos, de incendio y cualquier otro riesgo derivado del estado incompleto o provisional del tren.

El Adjudicatario deberá entregar a FMB, antes de autorizarse el traslado del tren a sus instalaciones, un informe preventivo específico que incluya como mínimo:

- a) estado de configuración del tren y relación de elementos pendientes, provisionales, anulados, no protegidos, no validados o no conformes respecto a la configuración final;
- b) identificación de riesgos por ubicación física del tren y por actividad prevista;

- c) medidas preventivas implantadas antes del traslado;
- d) medidas preventivas adicionales a aplicar en instalaciones de FMB;
- e) limitaciones de uso, acceso, energización, circulación, pruebas o mantenimiento;
- f) necesidades de señalización, balizamiento, protecciones provisionales, enclavamientos, bloqueo/etiquetado o consignación de energías;
- g) equipos de protección individual requeridos por ubicación y actividad;
- h) personal autorizado o cualificación mínima requerida para cada intervención;
- i) instrucciones específicas de emergencia, evacuación, incendio, rescate y primeros auxilios cuando proceda;
- j) responsable preventivo del Adjudicatario durante la estancia del tren en instalaciones de FMB.

La entrega de este informe será condición necesaria para la aceptación del traslado del tren a instalaciones de FMB y para el inicio de cualquier actividad de FMB o de terceros sobre el tren. FMB podrá requerir aclaraciones, ampliaciones, medidas adicionales o la subsanación de deficiencias antes de permitir el acceso, energización, circulación, pruebas o intervención sobre el tren.

La aceptación del traslado por parte de FMB no eximirá al Adjudicatario de su responsabilidad sobre los riesgos derivados del diseño, fabricación, integración, estado provisional, documentación, instrucciones, protecciones, señalización o medidas preventivas asociadas al tren hasta su recepción definitiva y puesta en servicio. Asimismo, el Adjudicatario deberá cumplir las obligaciones de coordinación de actividades empresariales que resulten aplicables durante los trabajos desarrollados en instalaciones de FMB.

10.3.5 Derecho de FMB para solicitar repetir cualquier tipo de pruebas inspecciones y/o ensayos

Si FMB considera que alguna prueba tipo o serie, inspección o ensayo, no presenciada por FMB debe ser repetida, FMB lo informará al Adjudicatario y éste procederá a repetirlas, sin coste adicional para FMB.

10.3.6 Recursos para las pruebas, inspecciones y/o ensayos

El Adjudicatario será responsable de suministrar toda la asistencia, personal, piloto homologado, equipos, instrumentos, ... y todo cuanto fuere necesario o requerido para realizarlas eficientemente. En ningún caso la realización de pruebas, inspección, ensayos, ... supondrá un coste de ningún tipo para FMB.

Todos los costes asociados a la realización de cualquier tipo de pruebas, inspección o ensayo correrán a cargo del Adjudicatario, tanto en la realización de las pruebas, como para los costes asociados al desplazamiento, dietas y hospedaje del personal que FMB designe. Incluyendo normas y ensayos.

10.3.7 Principales operaciones de control

El presente programa de control es un programa tipo, que deberá ser adaptado a las características principales de los vehículos a controlar, cuando estén definidos.

El programa de control indicado a los apartados siguiente no es limitativo, debiendo presentar el Adjudicatario el programa de control que deberá ser sometido a la aprobación de FMB.

10.3.7.1 Control de las Cajas

10.3.7.1.1 *Sumario de las operaciones*

El control de las cajas comportará las operaciones siguientes:

- a) Control en almacén de las piezas provenientes de subcontratistas.
- b) Control del bastidor de caja.
- c) Control de la calderería y caja en blanco.
- d) Control de la pintura.
- e) Control del recubrimiento y vinilado.
- f) Control del acabado de los vehículos.
- g) Ensayo de recepción de los vehículos.
- h) Estanqueidad de los vehículos.

10.3.7.1.2 *Control en almacén de las materias primas entregadas por los subcontratistas*

A la recepción del material por el Adjudicatario, la mercancía entregada será registrada en un documento que se entregará a los servicios correspondientes. Se asegurará la trazabilidad de todos los materiales.

El Adjudicatario deberá enviar a la Inspección de FMB un aviso de recepción en el que se mencionará, llegado el caso, el número de la autorización de expedición entregado por el receptor y el control de recepción realizado.

10.3.7.1.3 Control de la caja en blanco

➤ Homologación de los soldadores

Los soldadores que trabajen en la realización de la calderería deberán estar homologados.

Estas pruebas se realizarán siguiendo la aplicación de las normas UNE-EN 287 parte 1 o 2.

El proveedor de soldeo de las estructuras deberá estar certificado según la norma UNE-EN 15085-2 con nivel CL1.

➤ Vigilancia de la fabricación de los subconjuntos de calderería

Se trata de los elementos siguientes: bastidor, laterales, testeros delantero y trasero, pabellón, cajas de aparatos, etc.

Antes de la soldadura, los largueros, cabeceros y las traviesas pivote serán objeto de un control particular. Los inspectores del Adjudicatario deberán obligatoriamente presentar estas piezas a la Inspección de FMB antes de la soldadura.

En los subconjuntos a soldar, las piezas deberán estar exentas de depósitos, susceptibles de dañar la soldadura.

Se verificará que las partes superiores de las alas de los perfiles estén en un mismo plano.

Después de soldar, se verificará cada soldadura, debiendo el Adjudicatario someter a la aprobación de FMB, las normas utilizadas en el procedimiento de soldadura e inspección.

El utillaje que se realice estará previsto para evitar las soldaduras verticales y de techo, soldándose exclusivamente en posición horizontal, o en su caso el procedimiento aprobado por FMB.

El Adjudicatario establecerá un plan de control sobre las soldaduras de caja, de acuerdo al cual, se controlará la fabricación, que especificará:

- Método o sistema de soldadura.
- Normativa utilizada para los procesos de soldadura.
- Desarrollo o plano de las partes a soldar.
- Sistema de corte y achaflanado.
- Limpieza de chapas (inexcusablemente para los bogies va por fresado o similar).

- Características de las uniones a realizar.
- Parámetros de soldeo.
- Homologación proceso.
- Homologación de soldadores.
- Control por E.N.D (Ensayos No Destructivos).
- Prolongación de chapas, cordones y cortes posteriores.

El Adjudicatario se someterá inexcusablemente ante FMB para la homologación de:

- Soldadores.
- Procedimiento.
- Esta homologación se realizará pese a que el personal interviniente esté trabajando en otros proyectos.

Para la homologación de soldadores se utilizarán la norma UNE-EN 287, parte 1 o 2, DIN 8560, o la propia del Adjudicatario aprobada previamente por FMB. Se procederá de igual manera para la homologación de procedimiento.

Sobre el control por E.N.D. (Ensayos No Destructivos) se confeccionará un checklist en la que se indicarán todas las soldaduras objeto de este ensayo, que serán todas las principales, incluyendo en ellas uniones de larguero-cabecero, uniones de traviesa-pivote-cabecero, uniones traviesa-pivote-largueros, etc. Esta propuesta de planilla, será sometida a la aprobación de FMB.

Se establecerá un plan específico de las soldaduras con indicación de los métodos, su desarrollo, sistema de corte, limpieza, etc. Se seguirá la Norma UIC-897 (puntos 1 y 9).

El control fundamentalmente se realizará por radiografía, admitiéndose exclusivamente calidades negra y azul según UNE 14011. El control por U.S. (Ultrasonidos) será válido previa homologación de procedimiento y operadores y aprobación por FMB. El control por líquidos penetrantes será sometido a la aprobación de FMB, pero su utilización en serie sólo podrá realizarse tras comprobar la bondad por los procedimientos anteriores en los diez primeros coches.

Caso de que el Adjudicatario desee utilizar otras normas UNE, ASTM, etc. o propias, las presentará a FMB para su aprobación.

Asimismo, en las primeras cajas, en un número a determinar de soldaduras, pero comprendiendo todas las principales y aquellos casos de duda, se efectuará toma de muestras para ensayo.

Dicha toma se realizará sobre testigos, prolongación de las piezas a unir, realizándose la soldadura como prolongación del cordón de trabajo.

Se cortarán estos testigos en frío, y se ensayará ha plegado a 180° con mandril de $d = 2e$, no debiendo aparecer grieta, fisura, poros, etc., en toda la parte plegada.

Queda a criterio de FMB el realizar otros ensayos complementarios, tal como tracción, resistencia, textura y macrografía. Sin coste alguno para FMB.

Se realizará sobre el total de las soldaduras un control visual, por lo que el Adjudicatario remitirá un plan de criterio de aceptación, el cual previa aprobación por FMB se empleará en la supervisión de la fabricación.

Todos los controles dimensionales se realizarán siguiendo la norma:

NF F31.101 Coches, furgones y elementos automotores. Chasis y chasis-caja.
Características dimensionales. Tolerancias.

➤ Control dimensional de la traviesa pivote y del bastidor

Se verificarán las traviesas pivote antes de su montaje; llevándose el control en primer lugar a las soldaduras, las partes mecanizadas deberán estar conformes con los planos en cuanto a sus dimensiones y estado superficial. Se establecerá un acta para el control de la soldadura y dimensiones del bastidor.

➤ Verificación de la caja en blanco

Cada caja en blanco, una vez finalizada, deberá ser presentada al inspector, que procederá a las operaciones siguientes:

- a) Control de planitud de laterales, testeras y extremos.

Las superficies deberán ser perfectamente tensas y planas. Se aplicará una regla en las diferentes orientaciones, no debiendo aparecer deformaciones por cavidades o bolsas superiores a 1 mm.

- b) Se suprimirá todo tipo de deformaciones ondulatorias.

c) Verificación de las dimensiones de la caja en blanco. Principales verificaciones a efectuar:

- Alojamiento de ventanas y entrantes, alojamiento de puertas, tabiques y extremos, altura del techo desde el interior, hueco de los equipos de climatización. Verificar la escuadra en relación al suelo del coche, asegurarse que la anchura de las puertas es constante en toda su altura.
- Marcos de puertas laterales: verificar el escuadrado de los montantes en relación al suelo.
- Enderezado interior de la estructura: verificar el enderezado de las partes visibles después de la colocación del revestimiento interior (se permitirá una tolerancia mayor de las partes ocultas que soportan el revestimiento de la caja) y verificar las alturas del piso y fijaciones de las columnas de la plataforma y asientos.
- Planilla de bastidor, incluyendo:
 - Distancia entre pivotes o centros de bogies.
 - Longitud total.
 - Distancia de pivotes o centros de bogies extremos.
 - Diagonales.
 - Ancho a nivel de cabeceros, vigas pivotes, y a lo largo de todo el bastidor.
- Planilla caja, incluyendo:
 - Longitud de caja a altura de bastidor, centro y cubierta
 - Anchura de caja en zona de cabeceros, vigas pivotes y con lecturas intermedias proporcionalmente repartidas y a tres niveles, techo, cintura y bastidor.
 - Altura de caja en ambos extremos y a lo largo de la caja.
 - Reviro o diferencia de altura en los puntos de apoyo de la caja con el bogie.

- Contraflecha.
- Planitudes laterales, extremos, suelo bastidor y superficies planas.

Una vez se hayan realizado las verificaciones indicadas de la caja en blanco, se firmará acta de inspección de verificación de cada una de las cajas por parte de FMB y del adjudicatario.

➤ Verificación de la estanqueidad del pabellón

Después de la soldadura se realizará el control de la estanqueidad del pabellón. Éste conlleva en primer lugar la verificación de las soldaduras:

- En el caso de aluminio: por líquidos penetrantes. Prueba de estanqueidad neumática, por diferencia de presión, en tiempo transcurrido.
- En el caso de acero: por partículas magnéticas o líquidos penetrantes.

La zona de pantógrafo, la de incorporación del aire acondicionado de pasaje y cabina, y en general la cubierta, será tratada especialmente comprobándose, aparte de la estanqueidad, el correcto drenaje de esta parte, al objeto de que se produzca una perfecta evacuación del agua.

10.3.7.1.4 *Control de la pintura*

➤ Pintura exterior de caja

Se comprobará que las instalaciones estén provistas de filtros para la entrada de aire, temperatura no inferior a 12°C y humedad no superior al 85%.

Se verificarán los siguientes procesos: Preparación de superficie, pintura de imprimación enmasillado, pintura capa intermedia, pintura de acabado y aplicación de vinilos antigrafiti.

➤ Pintura exterior de techo

Se comprobará la aplicación como mínimo de las siguientes capas:

- Capa de epoxi.
- Imprimación.
- Capa de acabado grueso.
- Barniz.

10.3.7.1.5 *Inspección del interiorismo*

Se procederá a las operaciones de control siguientes:

➤ Control del montaje de las ventanas

Adjudicatario asegurará el perfecto amarre de los marcos y lunas. Se definirá con una prueba específica para comprobar la potencial salida de la luna o ventana del perfil de caucho, o de su despegue, en caso de que vaya pegada.

➤ Inspección del montaje del aparellaje

La vigilancia se ejercerá por muestreo durante la ejecución de los trabajos.

➤ Inspección de la instalación del cableado eléctrico y apriete de conexiones

El cableado después del conexionado y marcado se presentará al inspector antes de la colocación del aparellaje (por ejemplo: el cableado bajo el bastidor antes del montaje de los cofres, el pupitre pre-cableado antes de su emplazamiento en la cabina, etc.).

Después de verificar la conformidad con los planos en su montaje, las mangueras de unión de los hilos de tren no permitirán su estrangulamiento o dobleces.

El control unitario de cables y mangueras se efectuará previamente por el servicio de inspección del Adjudicatario. FMB inspeccionará por muestreo entre los lotes presentados.

El Adjudicatario asegurará que no se produzca ningún deterioro por el movimiento y por las vibraciones al circular los trenes. Es necesario embridar adecuadamente los cables cuidando especialmente que las aristas vivas de los perfiles que estén en contacto con los cables, se protejan adecuadamente.

El apriete de las conexiones se efectuará con llave dinamométrica, marcando la posición.

El diseño del paso eléctrico entre coches se someterá a ensayo funcional durante las pruebas de tipo y deberá demostrar su durabilidad frente a ciclos de conexión/desconexión, impacto ambiental y cargas dinámicas, conforme a lo establecido en 50343 y EN 50155.

Control de calidad en montaje cableado

Se realizarán ensayos de tracción mecánica (según UNE EN 50343) en puntos críticos, especialmente donde el cableado entra en armarios, cajas técnicas o estructuras móviles.

En fase de fabricación, se exigirá verificación visual y validación documental de:

- Ubicación de soportes.

- Fijaciones.
- Radio de curvatura.
- Tipología de protección.
- Ausencia de contacto con aristas o componentes móviles.

➤ Verificación y aprobación por parte de FMB de los procesos especiales como:

- Pintura.
- Remachado.
- Soldadura.
- Crimpado.
- Pares de apriete. Se marcarán todas las uniones roscadas o atornilladas bajo bastidor, incluidos los tornillos de las pisaderas y la de los equipos que estén bajo bastidor. El resto de uniones roscadas o atornilladas que no se encuentren bajo bastidor se marcarán a partir de métrica 6.
- Sellados o adhesivados especiales (vidrios frontales) o trampillas laterales, pavimento del suelo de la sala de pasaje y cabina, por ejemplo.
- Curvado de tuberías.
- Vinilado.
- Y otros que el Adjudicatario considere.

Estos procesos especiales deberán basarse en normas internacionales. El Adjudicatario las propondrá a FMB para su aprobación.

➤ Verificación general de la caja / coche

Las operaciones de control se efectuarán siguiendo los planos de proyecto y cuidando especialmente los detalles de acabado del revestimiento interior del compartimiento de pasaje.

El Adjudicatario deberá proponer dossier de aceptación de criterios visuales, para aceptación por parte de FMB, dos meses antes de la primera inspección.

➤ Piso

Al margen del envío de las certificaciones de ensayo oficial a que ha sido sometido el material del pavimento y sus elementos, en el taller del Adjudicatario se revisarán por FMB o entidad Inspectora, antes y durante la colocación del pavimento:

- a) Los materiales empleados.
- b) Colocación.
- c) Juntas de unión.
- d) Pruebas de despegue.
- e) Acabado final.
- f) Prueba de resistencia a la abrasión del pavimento.
- g) Armonización del color (Matching) entre piezas del pavimento empleado.
- h) Planitud, dentro de lo requerido en este pliego.

Una vez colocado y después del tiempo prescrito para el secado, se realizará una prueba de estanqueidad al agua, particularmente en los lugares de unión y rodapiés, igualmente se comprobará la ausencia de flexiones irregulares, al paso ni marcado de las zonas de unión de tableros, riostras, etc. La prueba de estanqueidad al agua se realizará con gran cantidad de ésta, imitando un lavado del suelo por baldeo. Estas comprobaciones se ampliarán con las observaciones realizadas en los primeros tiempos de explotación, sobre todo en relación con el marcado de las zonas de pavimento y la facilidad de limpieza.

No se permitirán ondulaciones ni desalineaciones mayores a 1 mm en la planitud longitudinal o transversal a lo largo o ancho de todo el coche después de la aplicación del pavimento en el suelo del bastidor. Tanto en la zona de pasajeros como en las cabinas de conducción.

➤ Pasillo de intercirculación

El Adjudicatario definirá un protocolo, simulando las condiciones de curva, peralte, etc. de línea, cocheras y talleres que será sometido a la aprobación de FMB.

El montaje del pasillo o el propio funcionamiento del pasillo no deberá dejar ninguna marca en el extremo del coche donde haga el cierre o se apoye, impidiendo que dañe la pintura de la caja.

10.3.7.1.6 *Control del acabado de los coches*

Este control comportará los puntos siguientes:

- Control del montaje definitivo de las puertas de acceso sala pasajeros, cabina conductor y sistemas de evacuación de emergencia frontal y/o lateral.

Después de consultar los planos de montaje, se verificará:

- a) Los juegos.
 - b) La anchura de las guías de las puertas.
 - c) El reglaje del sistema de seguridad de las puertas.
 - d) Que no exista ningún roce entre las hojas y la armadura.
 - e) El par de apriete y marcaje de los tornillos de fijación.
 - f) Se efectuará un rodaje de al menos 8 horas o 1000 ciclos, simulando las condiciones reales del funcionamiento de las puertas. En caso de fallo de una puerta se repetirá la prueba completa desde el inicio. Se validará el ajuste de las puertas tal y como indiquen las instrucciones de montaje del suministrador de las puertas, incluido el sistema de condena mecánica.
 - g) Para los sistemas de evacuación frontal o lateral, el Adjudicatario presentará las instrucciones de montaje y ajuste que deberá ser aprobada por FMB.
- Prueba de estanqueidad según EN 14752, en su última versión. Esta norma se aplicará a todo el contorno del vehículo, en todas las puertas, cabina incluida y sistemas de evacuación para el pasaje o personal de metro.
 - Control del montaje de los asientos

Se verificará la fijación de los asientos. En todos los casos deberá quedar asegurada la intercambiabilidad de los mismos. La alineación entre ellos siempre deberá ser menor a 1mm entre piezas del mismo conjunto de asientos.

- Inspección de pictogramas y rótulos

Se efectuará inspección ocular para su aceptación o rechazo, debiendo ser del tipo indeleble.

Evitando esquinas a 90 grados que permitan la vandalización de estos, por despegue por parte del pasaje.

Se seguirá lo indicado en el catálogo de señalética de FMB y fichas por código. Documentos que serán entregados por FMB en fase proyecto y adaptados por el Adjudicatario a los nuevos trenes con la aprobación de FMB, tres meses antes de su aplicación en el primer tren.

➤ Inspecciones a efectuar en la colocación de los bogies

La colocación del bogie se realizará en la factoría del Adjudicatario, una vez efectuadas el conjunto de las operaciones de control. Debe verificarse el correcto acoplamiento de la caja y del bogie:

- a) Verificación de la fijación de la traviesa bailadora a la caja.
- b) Regulación de la altura de la suspensión y del piso.
- c) Inscripción en curva y "lomo de asno".
- d) Uniones eléctricas y neumáticas.

10.3.7.1.7 *Ensayos de recepción de los vehículos en factoría*

Los ensayos se efectuarán siguiendo las especificaciones del Pliego y el programa de ensayos detallado, establecido expresamente por el Adjudicatario para este material.

La revisión de los acabados de los coches deberá ser la última operación a realizar previo a la expedición del tren a FMB. Se realizará con el tren completamente terminado, con todas las pruebas acabadas, incluida la estanqueidad. El tren estará acoplado, pudiendo ser posible la inspección interior, exterior, bajo bastidor y cubierta en la misma ubicación. Esta inspección se realizará antes de dos días laborables a su expedición a FMB, siendo el Adjudicatario capaz de solventar y corregir, aquellos puntos que sean detectados durante la inspección y siempre antes de su expedición a FMB.

Para los ensayos serie de los trenes antes de salida de fábrica, pruebas de aceptación en fabrica, el tren deberá estar completamente acabado y con protecciones para todas aquellas partes que puedan ser susceptibles de ser dañadas durante las pruebas. El Adjudicatario estará obligado a presentar a FMB, las soluciones que adoptará para proteger el tren durante las pruebas, para su aceptación y validación por parte de FMB.

Se establecerá un protocolo que contemple como mínimo los ensayos de la norma UNE-EN 50215 y los que se describen a continuación, tanto para los coches solos como para los trenes quintuples ya formados.

➤ Ensayos dieléctricos siguiendo la recomendación UIC 616

- a) Ensayos de los circuitos de potencia (A.T.).
- b) Ensayos de los circuitos auxiliares (A.T.).
- c) Circuitos de baja tensión.
- d) Circuitos de alumbrado.
- e) Circuitos electrónicos.

➤ Medición de aislamientos

- a) Entre cada circuito.
- b) Entre dos circuitos.
- c) Anotación de los valores en la ficha de control.

➤ Ensayos generales de los circuitos

Se trata de verificar el correcto funcionamiento de cada circuito.

Ensayos de tracción

- a) Ensayos estáticos.
- b) Verificación de los sentidos de rotación de los motores.
- c) Ensayos de tracción descritos en los protocolos correspondientes.
- d) Medición vibraciones (5xGMF) de las reductoras y temperaturas.
- e) Ensayos de tracción en vía del Adjudicatario.

Ensayos neumáticos

- a) Verificación del arranque y paro de los compresores.
- b) Verificación del funcionamiento de los reguladores y válvulas de seguridad.
- c) Verificación de la estanqueidad.
- d) Medida de las pérdidas durante 20 minutos, con todos los circuitos en servicio. La disminución de presión debe ser inferior a 1 bar.

Ensayos de los frenos

- a) Verificación de las presiones para cada nivel de esfuerzo de freno exigido.
- b) Verificación de la aplicación real de los frenos en cada bogie.
- c) Verificación de la aplicación y aflojamiento del freno de estacionamiento.

Ensayos de las puertas

- a) Verificación general del funcionamiento:
 - paso entre montantes.
 - montante de las juntas, etc.
- b) Medida con dinamómetro del esfuerzo necesario para la abertura y el cierre:
 - motor acoplado.
 - motor desacoplado.
- c) Medida del tiempo de apertura y cierre.
- d) Medición de la fuerza ejercida por la puerta en simulación de atrapamiento.

Pesado de los coches y trenes

Los coches se deberán pesar todos, dando su peso en aislado y como unidad acoplada.

Se realizará con tren acoplado siguiendo las normas EN50215.

Para el conjunto de las operaciones ya citadas dará lugar al establecimiento de una ficha de control de ensayos que precisará para cada coche:

- a) Los números de serie marcados sobre el conjunto de la aparamenta instalada sobre cada coche.
- b) El gálibo del vehículo.
- c) Los pesos de los coches.
- d) Las observaciones formuladas sobre el material entregado.

10.3.7.2 Programa de control de los bogies

Se establecerá para los bogies un programa de control análogo al de las cajas. Comprenderá para un programa tipo, las operaciones siguientes:

10.3.7.2.1 *Calderería*

- a) Recepción de las materias primas.
- b) Control del embutido de las chapas.
- c) Control de las soldaduras y de la competencia de los soldadores (piezas de seguridad).
- d) Control del chasis sobre el potro.

Este control se efectuará de una manera análoga al del chasis de la caja.

10.3.7.2.2 *Mecanizado*

Control general de las operaciones de mecanizado.

10.3.7.2.3 *Montaje del bogie*

- a) Conformidad.
- b) Juegos pares de aprietes.

10.3.7.2.4 *Recepción de los bogies*

- a) Control del tarado, de los juegos y de las carreras, para los distintos estados de carga.
- b) Control de los frenos: funcionamiento, control de ejes, juegos, freno de estacionamiento, etc.
- c) Controles eléctricos: medida de aislamiento hilo a hilo.
- d) Control de estanqueidad del circuito neumático.
- e) Ensayos sobre el banco de pruebas, previstos como ensayos de tipo o de serie para los bogies motores.

10.3.7.2.5 *Acabados*

- a) Pintura e inscripciones. El esquema de pintura propuesto para el interiorismo, los coches y los bogies deberá ser aprobado por FMB.

- b) Engrase, llenado de aceite de los reductores.

10.3.7.2.6 *Fichas de recepción*

Comprenderán los resultados de los distintos controles.

10.3.7.3 Programa de las principales operaciones de control de los motores de tracción

Los controles a realizar serán los indicados en los apartados siguientes.

10.3.7.3.1 *Estator*

- a) Parte mecánica.
 - carcasa.
 - cojinetes.
- b) Parte eléctrica.
 - Bobinados.
 - Conexiones.
 - Aislamientos.
- c) Montaje del estator. Cableado. Acabados.
 - Controles del cableado y del aislamiento de las conexiones.

10.3.7.3.2 *Rotor*

- a) Parte mecánica
 - Árbol: verificaciones dimensionales de los diámetros y controles de la concentricidad.
 - Cono móvil.
 - Ventilador.
 - Chapas.
- b) Montaje de la armadura
 - Apilado.

c) Ensayos

- Medición de las resistencias.
- Onda de choque y ensayos de alta tensión a masa.

Inmediatamente después del ensayo de sobrevelocidad, se aplicará una tensión alterna de 3750 V, 50 Hz durante un minuto, entre todos los arrollamientos conectados en serie y la masa.

10.3.7.3.3 *Montaje del motor*

- a) Control de los rodamientos.
- b) Control de la colocación del rotor.
- c) Medida del juego lateral y radial.

10.3.7.3.4 *Ensayos del motor. Ensayos en plataforma*

- a) Medida de las resistencias.
- b) Calentamiento unihorario.
- c) Características de carga.
- d) Sobrevelocidad.
- e) Ensayo dieléctrico.
- f) Medida del aislamiento.

10.3.7.3.5 *Equipamiento del motor*

- a) Control de la estanqueidad de las cajas de bornes y de los registros.
- b) Control de la protección de las partes mecanizadas.
- c) Control del estado de la pintura.
- d) Verificación de la identidad del motor y de sus elementos.

10.3.7.4 Control del equipo de tracción, convertidores estáticos y resto de equipos electrónicos.

El Adjudicatario entregará a FMB la documentación acreditativa de los equipos electrónicos siguiente:

- Los procesos de selección y homologación de los componentes montados en el equipo.
- Los procedimientos de control de calidad aplicados en la recepción de los elementos del equipo procedentes de suministradores externos.
- Las etapas de fabricación del equipo, detallándose los procedimientos de control de calidad y pruebas que se efectúan en cada una de ellas.

Asimismo, el Adjudicatario elaborará un Plan de Control de la fabricación de los equipos, que deberá ser sometido a la aprobación de FMB, en el cual se señalarán los hitos más relevantes susceptibles de ser sometidos a inspección por parte de FMB.

El Adjudicatario deberá asegurar la trazabilidad de la fabricación de los equipos desde el acopio de componentes hasta las pruebas tipo o serie finales.

10.3.7.5 Control de los subcontratistas

Los controles itinerantes asegurarán la recepción de los aparatos y subconjuntos más importantes, instalados en los coches. Se establecerá un documento de acuerdo con el Adjudicatario dentro de la lista de los aparatos a recepcionar en las fábricas de los subcontratistas. Esta lista comprenderá, en particular, las baterías, compresores, grupos convertidores, aparatos de freno, enganches, y equipos principales que determine FMB en fase de proyecto. Precisarás las operaciones de recepción, así como los ensayos a realizar, que someterá a la aprobación de FMB.

Para proceder a la recepción de aquellos equipos que deban superar pruebas serie, será condición necesaria que estos vengán acompañados con la documentación, justificativa de que dichas pruebas han sido realizadas y superadas. Certificados 3.1 según EN 10204 en su última versión.

10.3.7.5.1 *Aparatos de conmutación*

Interruptores, Seccionadores, Conmutadores y relés

La normativa aplicable a estos materiales es la siguiente, o las equivalentes más actualizadas:

NF C 45.250	Relés eléctricos. Relés todo o nada.
NF C 62.002	Material ferroviario. Relé todo o nada encapsulado.
CEI 77	
UIC 616	

CEI 408	Interruptores, seccionadores, interruptores y seccionadores combinados con fusibles a baja tensión.
NF C 61.120	Interruptores y conmutadores para aparatos.
NF C 63.130	Interruptores. Seccionadores. Conmutadores.
NF C 94.412	Componentes electromecánicos. Interruptores e inversores de báscula. Prescripciones generales.
UNE-EN 60129:96	Seccionadores de corriente alterna para alta tensión y seccionadores de puesta a tierra.
UNE 20103	Interruptores automáticos de baja tensión para circuitos de distribución.
UNE 20314	Aparatos eléctricos de baja tensión. Reglas de seguridad. Protección contra choques eléctricos.

El control se efectuará por muestreo.

Contadores. Disyuntores de uso general

Se aplicará la siguiente normativa:

NF C 20.040	Líneas de fugas y distancia de aislamiento en el aire.
NF C 63.110	Contadores. Reglas (o su equivalente).
NF C 63.120	Disyuntores. Reglas.
UNE-EN 61095:99	Aparatos de maniobra de baja tensión. Contadores.
CEI 77157-1	

El control se efectuará por muestreo.

10.3.7.5.2 Motores auxiliares industriales

Si son de corriente continua soportarán los ensayos de tipo y de serie señalados en la norma CEI 349-1, según un programa simplificado respecto de los motores de tracción, que no comprenderá los ensayos de investigación. Esta norma y las pruebas a que hubiese lugar, quedarán complementadas por las normas UNE20113 y 20116, referentes a máquinas eléctricas rotativas.

Los motores de alterna soportarán ensayos de tipo y de serie.

Los ensayos de tipo se realizarán con el motor alimentado por su convertidor, tal como esté en el tren. Comprenderán:

- a) Medida de las resistencias.
- b) Sentido de rotación.
- c) Calentamiento.
- d) Medición de las características par-velocidad, potencia.
- e) Ensayos dieléctricos según la norma CEI 349-2.
- f) Ensayos de cortocircuito rotor bloqueado.

A continuación de estos ensayos, se determinará, para los ensayos de serie, un régimen equivalente en alimentación a 50 Hz.

Los ensayos de serie comprenderán:

- a) Medida de las resistencias, que deberán ser idénticas ($\pm 6\%$) a las obtenidas en el ensayo de tipo del motor.
- b) Funcionamiento en un punto característico de cada régimen de definición, (la intensidad no debe variar en un $\pm 10\%$ de la del ensayo tipo).
- c) Ensayos dieléctricos según la norma NF C 51.111.

10.3.7.5.3 Ventilación

Los controles particulares sobre los grupos de ventilación verificarán:

- a) El equilibrado del motor, que deberá respetar un grado 2,5, se regirá según la norma ISO 1940.
- b) El equilibrado del conjunto, que deberá respetar un grado 6,3, se regirá según la norma ISO 1940.
- c) Un ensayo de funcionamiento permitiendo determinar los regímenes de funcionamiento, sobre un cajón equivalente para el primer equipo según la norma.

10.3.7.5.4 Equipos electrónicos, sistema informático embarcado, sistemas de comunicación, sistemas de conducción automática sin conductor.

Los Adjudicatario de estos sistemas establecerán para cada uno de los elementos constitutivos del sistema, una prueba tipo y serie que deberá ser aprobada por la Inspección de FMB.

El Adjudicatario estará obligado a realizar dichas pruebas previo el montaje en el tren, respetando la normativa aplicable en cada caso.

El Adjudicatario del equipo de radiotelefonía realizará una puesta a punto final en las dependencias de FMB y condiciones reales de servicio.

Para aquellos equipos que precisen una puesta a punto final en las dependencias de FMB y en condiciones reales de servicio, también se establecerá una prueba tipo y serie que deberá ser aprobada por FMB.

10.3.7.5.5 *Resistencias de freno*

Se verificará la conformidad de las resistencias de freno con la prescripción CEI 322.

10.3.7.5.6 *Conductores y cables eléctricos (confirmar)*

Las verificaciones y ensayos se consignarán en las fichas de control de ensayos establecidos por el Adjudicatario y se enviarán al control, pudiéndose efectuar las verificaciones por muestreo.

Los conductores llevarán impreso en la cubierta, el lote, siglas de FMB, sección, número de conductores, tensión de aislamiento, etc.

Ensayos en la totalidad del suministro

Cumplirá lo establecido en la norma UNE de referencia para ensayos de cable en baja y alta tensión.

- a) Ensayos de rigidez dieléctrica en seco sobre los cables apantallados
 - Entre conductores.
 - Entre conductores y pantalla.
- b) Ensayo de rigidez dieléctrica después de la inmersión en agua para los conductores y cables no apantallados.
- c) Medida de la resistencia de aislamiento.

Ensayos y verificaciones efectuados por muestreo sobre una muestra de cables y conductores acabados

- a) Verificación del aspecto superficial de la banda de protección.
- b) Verificación de las inscripciones y marcas del cable sobre la banda.
- c) Verificación del diámetro exterior del cable y de su cilindrada.
- d) Verificación de la constitución del cable y del marcado de los conductores.
- e) Verificación del espesor y del centrado de las bandas aislantes y de protección.
- f) Medida de la resistencia lineal de los conductores.
- g) Verificación del estañado de los hilos de cobre.
- h) Verificación de la resistencia a la propagación de la llama y opacidad de humos y libre de halógenos.

Ensayos a efectuar por el suministrador

Los siguientes ensayos los efectuará el suministrador y los resultados se plasmarán sobre fichas de control de ensayos.

- a) Verificación de la continuidad de los conductores.
- b) Verificación de las características mecánicas de las envolturas aislantes y del revestimiento en estado de conexión y después de un envejecimiento acelerado.
- c) Ensayos de arrollamiento a baja temperatura y ensayos de congelación sobre las cubiertas de los conductores y el revestimiento de protección de cloruro de vinilo.
- d) Verificación de la resistencia de las bandas de protección al aceite mineral.

Normativa

- a) Datos generales.

En los cables a utilizar y sobre todos los de alta tensión, se tendrá en cuenta la tensión de catenaria, las tensiones parciales que puedan generarse en los circuitos de A.T. y sus efectos en las secciones de cables para la tensión más baja.

En todos los cables a emplear se indicarán, mediante los certificados correspondientes, las características y los datos siguientes:

- Fabricante.

- Tipo, color y denominación comercial.
- Sección y composición.
- Tipo y espesor del aislamiento nominal.
- Diámetro exterior nominal.
- Peso aproximado en kg/km. En cables especiales se indicará además la capacidad en pF/m.
- Carga permanente en A.
- Temperatura de trabajo permanente.
- Tensión nominal del cable.
- Tensión de prueba.
- Tensión de servicio.
- Resistencia de aislamiento según normas UNE 21026; UNE- EN 21027-09; UNE 21028; UNE-EN 21028-98; UNE 21119.
- Ensayos de tensión según normas UNE 21026; UNE-EN 21027-98; UNE-EN 21028-98; UNE-EN 21031-98; UNE 21119.
- Ensayos de aislamiento y cubiertas según normas UNE-EN 60811-96; UNE 21022, UNE 21064.
- Lugar y fecha de realización de los ensayos.

b) Verificación de las características generales de los cables.

Se comprobará que todos los tipos de cables a utilizar cumplen lo especificado en la ficha UIC 895-OR.

c) Pruebas y reacción al fuego y de emisión, opacidad y toxicidad de humos.

Antes del comienzo del montaje del cableado, el Adjudicatario deberá entregar a FMB el certificado correspondiente, expedido por el laboratorio oficial, de la calificación, tanto de reacción al fuego como de emisión, opacidad y toxicidad de humos de todos los cables a utilizar según norma UNE-EN 45545.

FMB deberá dar su aprobación antes de proceder al montaje.

Asimismo, FMB podrá proponer pruebas alternativas de ensayo de los cables al fuego, según UNE-EN 50265-99.

d) Otras pruebas.

El Adjudicatario, en fase de proyecto, presentará propuesta a aprobar por FMB de las pruebas siguientes:

- Ensayos de flexibilidad según CEI 228. Esta prueba será obligatoria para los cables de motores.
- Ensayo de resistencia de aislamiento según UNE 21026, UNE-EN 21027-98; UNE-EN 21028-98; UNE-EN 21031-98; UNE 21119.
- Ensayo de humos corrosivos, según UNE-EN 50267-98; CEI-754, o CEI-332.
- Ensayos de contenido de halógenos, según UNE-EN 50267-99 21147 o CEI 754.
- Ensayo de resistencia al aceite, según MIL-C-915 E o ASTM equivalente.
- Ensayo de características mecánicas según UNE 21123.
- Ensayo de temperatura admisible, según CEI-216.
- Ensayo de constitución del conductor, según UNE 21022 o CEI 228.
- Ensayo de desgarró, según BS-6899.
- Ensayo de abrasión, según DIN-53516.

Sobre coche montado se comprobará la correcta ejecución del cableado (fijaciones, guías mazos, articulaciones, ausencia de roces) etiquetado, comprobándose que son indelebles.

Se comprobará, asimismo, la existencia de cables de reserva, su identificación y localización de extremos.

Será obligatoria para el Adjudicatario preparar los bancos de los diferentes armarios eléctricos distribuidos por el tren para poder presentar a FMB el ruteado y fijación de

los cables en todos ellos. El Adjudicatario no podrá lanzar la fabricación serie de los mismos sin la aprobación expresa de FMB.

10.3.7.6 Operaciones de control de piezas mecánicas y materias primas.

La naturaleza de estos controles debe definirse en función del programa a realizar. A título orientativo se indican a continuación algunos ejemplos.

10.3.7.6.1 *Piezas moldeadas*

Los subpedidos deben redactarse con precisión, y llevar las indicaciones siguientes:

- El nº de venta.
- El nº de subpedido.
- El tipo de piezas pedidas.
- La cantidad de piezas pedidas.
- El nº de plano.
- El nº del modelo.
- Las condiciones de ejecución desbaste, chorreado, pintura.
- La calidad del material.
- El marcado de las piezas.
- Los números y referencias de las normas para la recepción.
- El principio a adoptar las reparaciones eventuales.
- La clase de defectos admisibles (gammagrafías clase ASTM).
- Los plazos de fabricación.
- Las condiciones de convocación del receptor.
- Normas utilizadas para las recepciones.
- Criterios de aceptación.

Se distinguirán dos casos:

Piezas tipo

- a) Para el caso de grandes piezas (carcasas). Ensayos no destructivos. Examen de gammagrafías (si está previsto en la especificación) con definición de la clase ASTM de aceptación de defectos: veteaduras, oquedades, inclusiones, grietas.

Determinación de las partes de la pieza a gammagrafiar. Examen de la pieza por ultrasonidos.

Determinación de los puntos críticos a inspeccionar por ultrasonidos.

- b) Para el caso de piezas pequeñas (30 kg). Ensayos destructivos.

La pieza se destruirá en presencia del inspector, por torneado, aserrado o amolado, observando su homogeneidad (en el caso de soportes, platos de apriete, piezas de unión).

Se determinará cuáles serán los ensayos aplicables a las piezas de serie.

Piezas de serie

Se efectuarán las intervenciones siguientes:

- a) Ensayos mecánicos.
- Tracción.
 - Resiliencia.
 - Permeabilidad magnética.
- b) Análisis químico.
- c) Verificación dimensional por muestreo.

10.3.7.6.2 *Piezas forjadas*

- a) Control del 50% de los productos:

Características químicas.

Características mecánicas.

Características geométricas.

Características físicas.

Características tecnológicas.

b) Control de piezas moldeadas, desbastadas o acabadas:

Recocido de normalización.

Tratamiento térmico.

Verificaciones.

Ensayos.

10.3.7.6.3 Ejes y ruedas

La entrega de las materias primas se efectuará de acuerdo con la norma UNE 36007. Condiciones generales técnicas de suministro de productos siderúrgicos y EN 13262. Aplicaciones ferroviarias, ejes montados y ruedas, requisito de producto.

Los ejes se verificarán además por ultrasonidos.

Los productos acabados estarán controlados desde el punto de vista dimensional.

Se realizarán controles sobre las materias primas, mediante probetas (dureza HB, resiliencia, tracción, composición química), según las normas que se describen.

Las pruebas y controles se realizarán a la totalidad de ejes y ruedas.

Las normas de referencia son:

UIC 811	Especificación técnica para la fabricación de ejes para material remolcado.
UIC 812	Especificación técnica para la fabricación de ruedas monoblocs en acero no aleado, laminado o moldeado para material móvil, motor y remolque.
UNE 36006	Tratamientos térmicos de los productos férreos. Terminología y definiciones.
UNE 7282	Toma y preparación de muestras y probetas de productos de acero laminado y forjado.
UNE 7262	Ensayo de tracción para productos de acero.
UNE 7290	Ensayo de flexión por choque con probeta entallada de productos de acero.

NF A 04.101	Productos metalúrgicos. Pruebas magnetoscópicas (detección con líquidos magnéticos).
UNE 7280	Determinación del tamaño de grano en aceros.
UNE 7278	Inspección de chapas por ultrasonidos.
NF A 5.151	Productos siderúrgicos. Examen macrográfico por sales de plata y ácido sulfúrico. Método de Baumann o de impresión al azufre.
NF F 01.104	Rodamientos para cajas de grasa. Control de recepción.
NF F 01.026	Marcado de los ejes, ruedas, bandajes y ejes montados. Definición de las marcas.
NF F 01.027	Marcado de los ejes.
NF F 01.110	Centro de mecanizado tipo A, acabado para ejes.

10.3.7.6.4 Reductores

Se realizará un control del material por colada y uno por conjunto después de haber seguido el tratamiento térmico. Estos controles se realizarán sobre barras testigo mediante ensayos destructivos.

Las piezas en bruto forjadas se tratarán de forma similar a la de los ejes.

Durante la fabricación, se procederá a los controles siguientes:

- Tratamiento.
- Estado superficial.
- Dimensional.
- Búsqueda de grietas.
- Controles sobre registro gráfico de la geometría de los dientes y del engranaje. Estos controles se efectuarán mediante máquinas especiales.

Se verificará:

- La despulla.
- El error individual del paso.

- El error total de división.
- El error total de perfil.
- El error compuesto radial.
- El salto radial.
- El salto de distorsión.

El conjunto de normas utilizadas en el curso de estos controles es:

UNE 7282	Toma y preparación de muestras y probetas de productos de acero laminado y forjado.
UNE 7262	Ensayo de tracción para productos de acero.
UNE 7017	Determinación de la dureza de productos de acero por el método Brinell.
UNE 7053	Ensayo de dureza en productos de acero por el método Rockwell.
UNE 7054	Determinación de la dureza en productos de acero por el método Vickers.
UNE 7290	Ensayo de flexión por choque con probeta entallada de productos de acero.
NF A 04.101	Productos metalúrgicos. Pruebas magnetoscópicas (detección con líquidos magnéticos).
NF A 04.102	Determinación del tamaño de grano ferrítico o austenítico de los aceros.
NF A 04.106	Métodos de determinación del contenido de inclusiones no metálicas en aceros laminados y forjados Parte II - Método micrográfico con la ayuda de imágenes tipos.
NF A 04.202	Productos siderúrgicos. Determinación y verificación de la profundidad convencional de cementación.
NF A 04.203	Productos siderúrgicos. Determinación de la profundidad convencional de temple después de calentamiento superficial.

NF A 04.204	Productos siderúrgicos. Determinación del espesor total o convencional de las capas delgadas endurecidas superficialmente.
NF A 05.150	Productos siderúrgicos. Técnicas de examen micrográfico.
NF A 05.151	Productos siderúrgicos. Examen macrográfico por impresión a las sales de plata y al ácido sulfúrico. Método llamado de Baumann o impresión al azufre.
NF A 05.153	Productos siderúrgicos. Examen macroscópico por ataque con sales de cobre.
NF A 05.154	Productos siderúrgicos. Técnica de réplica metalográfica (examen óptico).
NF F 00.027	Rosca gas.
NF E 03.053	Roscas métricas con perfil triangular. Sistema ISO de tolerancia de roscas. Calidad media 6H/69 para bulones y otras aplicaciones usuales.
NF E 05.015	Estado superficial de los productos. Prescripciones. Generalidades. Terminología. Definiciones.
NF E 23.006	Precisión de los engranajes paralelos con dentado de envolvente.

10.3.8 Niveles de control a aplicar a los diferentes órganos del vehículo

Para el conjunto del suministro las operaciones de inspección se reparten en cuatro niveles:

1.- Nivel 1

Este nivel concierne a todos los productos de uso general y para los cuales no se suponen características particulares. No se ejercerá control sobre ellos por parte de FMB en las factorías de los suministradores, pero pueden ser rechazados si no responden a las exigencias.

2.- Nivel 2

El control de nivel 2 afecta a todos los productos, subconjuntos y conjuntos con características impuestas para los cuales se establecerá una ficha de control específica.

FMB podrá ejercer control sobre ellos en las factorías de los suministradores.

3. - Nivel 3

A este nivel pertenecen todos los conjuntos principales, entre los cuales se puede citar, por ejemplo:

- El grupo motor compresor.
- El convertidor estático.
- Los elementos de freno.
- Los elementos de seguridad.
- Los enganches.
- etc.

El control se ejerce a todos los niveles de la fabricación: para cada conjunto, subconjunto o elemento, se establecerá una ficha de control y de ensayos que deben ser aprobadas por la Inspección de FMB.

FMB podrá ejercer control sobre ellos en las factorías de los suministradores.

4.- Nivel 4

Este control es ejercido por los inspectores de FMB en las factorías de los miembros del grupo que fabriquen las cajas, bogies, motores y equipos principales.

El seguimiento de la construcción se efectuará siguiendo las normas habituales aplicadas al material ferroviario y conocidas por los miembros del grupo. El programa lo establecerá el Adjudicatario y lo someterá, con la antelación mínima de dos meses antes del inicio de la fase de fabricación, a la aprobación de la Inspección de FMB.

FMB podrá ejercer control sobre ellos en las factorías de los suministradores.

Las propuestas indicadas en este capítulo son a título orientativo. No son ni exclusivos ni excluyentes y serán precisadas por FMB en fase de proyecto con el Adjudicatario, en función del diseño de los equipos.”.

10.3.8.1 Caja

Material

Nivel de control

Montaje general en fábrica 4

Montaje de la caja	4
Piezas moldeadas de aleación ligera	2
Perfiles y chapas de la estructura	2
Enganches y barras	4
Bulones de seguridad	2
Piso	2
Cristales y parabrisas	3
Revestimiento del suelo	2
Puertas y mecanismos	4
Placas de decoración	2
Uniones de las ventanas y puertas	2
Asientos	2
Cables	2
Baterías	1
Convertidores estáticos	4
Grupo compresor	4
Equipo control freno neumático	3
Depósitos de aire	3
Uniones neumáticas	2
Electroválvula de freno	3
Equipo antibloqueo	3
Sistemas de comunicaciones	4
Tacogeneradores y captadores de velocidad	2

Equipo ATP-ATO	4
Equipo de conducción automática sin conductor	4
Equipo registrador (caja negra)	4
Pantógrafo	3
Manipuladores, selector, etc.	4
Equipo aire acondicionado	4
Aparatos de alarma	3
Conmutadores	1
Mangueras entre vehículos.....	4
Mangueras de conexión de aparatos	4
Fusibles	2
Armarios de relés	2
Sistema informático embarcado	4
Sistema de videovigilancia.....	4
Tren-Stop	3

10.3.8.2 Bogies

<u>Material</u>	<u>Nivel de Control</u>
Productos siderúrgicos	2
Montaje de los bogies	4
Chasis y traviesas	4
Piezas embutidas y forjadas	2
Elementos de caucho	2
Ruedas	4

Ejes	4
Depósitos de la suspensión	2
Válvulas de nivelación	2
Amortiguadores	2
Montaje del reductor	4
Carter del reductor	2
Engranajes	4
Montaje de la timonería de freno	4
Cilindros de freno	3
Cables	2
Bulones de seguridad	2

10.3.8.3 Motores de tracción

<u>Material</u>	<u>Nivel de Control</u>
Montaje de los motores	4
Carcasa motor.....	2
Eje motor	3
Rodamientos	2
Hilo de bobinado	1
Rotor	4
Ventiladores	2
Cables	2
Captadores de velocidad	2

10.3.8.4 Equipo de tracción

<u>Material</u>	<u>Nivel de control</u>
Equipo electrónico de control	4
Circuito de potencia	4
Bobinas	4
Condensadores de potencia	4
Soportes	2
Hilo de bobinado	1
Bulones y tornillos de seguridad	2
Cables	2
Contactores A T	3
Disyuntor	4

10.3.9 Ensayos y controles

10.3.9.1 Generalidades

Los trenes completos serán objeto de ensayos particulares; el primer tren se someterá a ensayos de tipo para homologar y ajustar los equipos del tren. Todos los trenes se someterán a ensayos serie. El programa de pruebas tipo y serie debe ser presentado por el Adjudicatario con antelación mínima de dos meses a la fabricación de los primeros componentes principales del tren y debe ser aprobado por FMB.

Los ensayos dinámicos tipo y serie se realizarán en una vía de pruebas fuera de las instalaciones de FMB. Será responsabilidad del Adjudicatario disponer de vía de pruebas y de los recursos necesarios para realizarlas.

Para aquellas pruebas que sea imprescindible ser realizadas en las vías de FMB, el Adjudicatario deberá considerar que la disponibilidad para tales pruebas será de 1 a 4 horas por día, tres días a la semana, en horario nocturno.

Todos los ensayos y pruebas deberán ser realizadas por personal cualificado y en presencia de personal de FMB. Al finalizar dicho ensayo, se deberá cumplimentar la correspondiente hoja de aprobación, donde deberá aparecer la siguiente información:

- Nombre del fabricante con el correspondiente número de serie del equipo.
- Características principales del equipo o subconjunto.
- Normativa aplicada durante el ensayo para la obtención del resultado.
- Valores extraídos durante el ensayo con sus correspondientes tolerancias.
- Lugar, fecha y firmas de los responsables del ensayo, tanto de FMB como del personal asignado por el Adjudicatario.

Todas las normas que se utilicen o se mencionen en la documentación del Adjudicatario, para la ejecución del proceso productivo, montaje o las correspondientes pruebas y ensayos, deberán entregarse a FMB como mínimo dos meses antes de la realización de los montajes, o de las pruebas o ensayos.

10.3.10 Gestión de la fabricación

10.3.10.1 Plan de control del Adjudicatario

10.3.10.1.1 *Presentación del control de calidad*

El Adjudicatario presentará en fase de proyecto su organización general de control. Comprenderá los siguientes puntos:

- a) Organización del servicio de control de calidad.
- b) Procedimientos de control en las factorías de los subcontratistas.
- c) Disposiciones para la recepción de los materiales.
- d) Plan de control de la producción.
- e) Lista de las máquinas de ensayo e instrumentos de medida.

10.3.10.1.2 *Programa de control del Adjudicatario*

En un período que no debe exceder de dos meses después de la firma del contrato, el Adjudicatario presentará a la Inspección de FMB un programa de control adaptado al proyecto, comprendiendo las partes siguientes:

➤ Organización

El grupo para que pueda ser auténticamente eficaz, debe estar desligado de la oficina técnica y de producción, dependiendo exclusivamente de la dirección.

➤ Metodología de control

El Adjudicatario cumplirá las normas necesarias para garantizar el aseguramiento de la calidad, editando el Plan de Calidad y el Plan de Control de Calidad que serán sometidos a la aprobación de FMB. El Plan de Calidad deberá realizarse conforme a la norma IRIS ISO 22163

➤ Control de recepción

Deben controlarse todos los productos recepcionados. El control puede efectuarse por muestreo estadístico o sobre la totalidad de los productos. Las piezas y subconjuntos deben ser identificados y los certificados e informes de aceptación de los productos deben estar a la disposición de la Inspección de FMB.

➤ Certificado de conformidad

El Adjudicatario podrá establecer un procedimiento que le evite en determinados casos el control por muestreo y ensayos, no siendo necesario un control por parte del Adjudicatario de los materiales o elementos acompañados de un certificado de conformidad total con las especificaciones, expedido por el suministrador. No obstante, la Inspección de FMB puede solicitar un control por sondeo. El hecho de que las materias sean utilizadas a la vista de su certificado de conformidad, no exime al Adjudicatario de la responsabilidad de emplear las materias de acuerdo a las especificaciones, siendo rechazadas todas las materias no conformes una vez efectuado el muestreo.

➤ Puntos de control cliente

A fin de asegurar un control permanente de la fabricación el Adjudicatario establecerá un Plan de Control y de Inspección y Ensayos, que deberá ser aprobado por FMB, donde se especifiquen los "puntos de control cliente" en las cadenas de fabricación, estos puntos podrán ser de aviso, inspección o espera, a la inspección de FMB. Para cada punto, el Adjudicatario establecerá las actas de verificación y control que deberán ser visadas por la Inspección de FMB, el Adjudicatario comunicará a la Inspección de FMB el paso de cada "sistema" a cada "punto de control cliente" en los plazos fijados.

➤ Materiales, piezas y aparatos y subconjuntos

El control se refiere básicamente a la calidad de la ejecución, la conformidad en los planos y cálculos, y el cumplimiento satisfactorio de los ensayos de tipo, ensayos de primer artículo y pruebas serie.

Se ejercerá en todos los casos, independientemente de que los suministradores sean subcontratistas o no.

➤ Grandes conjuntos, coches y trenes

El control se refiere a la fabricación de las cajas de los coches, bogies, motores, equipos de tracción, equipos principales, y otros elementos, efectuado por la Inspección de FMB, que hará la supervisión y las verificaciones necesarias en los distintos estados de la realización.

Participarán en los ensayos parciales y generales de los bogies, motores, equipos de tracción de los coches y trenes formados antes de su expedición, la cual quedará subordinada a la autorización correspondiente dada por FMB.

Por otra parte, deberá enviarse a la Inspección de FMB, copia de todos los pedidos que se cursen referentes al vehículo en construcción. Los subcontratistas procederán de igual forma en la compra de aquellos materiales necesarios. Para cada operación de recepción satisfactoria, la Inspección de FMB librará un boletín de autorización de expedición.

Después de haber lanzado y presentado el proyecto en la revisión de diseño, el constructor está obligado a comunicar cualquier cambio de suministrador, centro de producción, proceso productivo, y/o diseño, que se pueda producir en cualquier fase posterior del proyecto.

Sin la aceptación por escrito por parte de FMB de cualquiera de los cambios mencionados, implica la no aceptación de ellos, y la consiguiente sustitución o actualización por parte del Adjudicatario, para la aceptación de los trenes. En ningún caso supondrá coste alguno para FMB.

Las verificaciones efectuadas por la Inspección de FMB dejan plena y entera responsabilidad al Adjudicatario que debe asegurar sus propios controles en todos los niveles de fabricación y de ensayos. Estos controles son a cargo del Adjudicatario.

Ninguna de las verificaciones realizadas por el personal de FMB libera total, o parcialmente al constructor de una mala ejecución o funcionalidad de su responsabilidad para con el fallo, y su resolución posterior.

10.3.10.2 Principios del programa de la Inspección de fabricación

10.3.10.2.1 *Prescripciones administrativas concernientes al establecimiento de pedidos*

10.3.10.2.1.1 Establecimiento de pedidos

Los pedidos remitidos a FMB deben llevar obligatoriamente las siguientes informaciones:

- a) El número y la fecha en que se ha efectuado el pedido original enviado al suministrador.
- b) El nombre del suministrador.
- c) La indicación precisa de la factoría encargada de la ejecución.
- d) La denominación y cantidades exactas de los productos solicitados.
- e) Las condiciones de recepción: planos, especificaciones técnicas, etc.
- f) La mención: "estas mercancías solamente pueden ser entregadas con la autorización de FMB".
- g) Las prescripciones que se indican en los apartados siguientes para el establecimiento de pedidos.
- h) Especificación General de compra y especificación Técnica, normas, requerimientos de calidad.

10.3.10.2.1.2 Peticiones de recepción

Las peticiones de recepción deben comunicarse mediante documento, 10 días antes de la fecha prevista, asegurando la recepción con 3 días de antelación al envío de los pedidos.

El conjunto de los pedidos o los documentos, deben ser sometidos al control de la Inspección de FMB desde su inicio, en vistas a determinar el tipo de control a aplicar de acuerdo con el programa establecido.

Los aprovisionamientos principales de los subcontratistas y sus suministradores se efectuarán por medio de pedidos redactados de la misma forma.

10.3.10.2.2 *Establecimiento de las fichas de control*

Las fichas de control por "punto", contendrán básicamente los datos siguientes:

- Para las cajas:

- a) Homologación de los soldadores y métodos de soldadura.
- b) Cualificación como nivel II de los inspectores de END, según UNE-EN ISO 9712.
- c) Verificación de la calderería después de la fabricación.
- d) Verificación de la estanqueidad del pabellón y techo.
- e) Control dimensional de las traviesas pivote, del chasis, de la calderería, etc.
- f) Aplicación de la pintura y de los rótulos.
- g) Verificación de los revestimientos.
- h) Montaje de las puertas y ventanas.
- j) Listado de instrumentos de medida utilizados en las inspecciones realizadas.

- Para los bogies

- a) Homologación de los soldadores y métodos de soldadura.
- b) Cualificación como nivel II de los inspectores de END, según UNE-EN ISO 9712.
- c) Control dimensional del chasis.
- d) Acabados, conformidad de los juegos, pares de apriete, tratamiento térmico, etc.
- e) Aplicación de la pintura y rótulos.
- f) Engrase, llenado de aceite de los reductores.
- g) Listado de instrumentos de medida utilizados en las inspecciones realizadas.

- Para los motores:

- a) Verificaciones dimensionales y de aspecto después del montaje.
- b) Acabados, conformidad de los juegos, pares de apriete equilibrado, etc.
- c) Control de la estanqueidad de las cajas de bornes, registros, filtros, etc.

- Para los otros sistemas:

El Adjudicatario completará esta lista para cada uno de los subconjuntos u órganos del material móvil, precisará las operaciones de control y establecerá un proyecto de ficha de control sometido a la aprobación de FMB.

10.4 PLANNING DE FABRICACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA

El Adjudicatario entregará quincenalmente una actualización del planning detallado de la producción, pruebas tipo, pruebas serie, inspecciones y ensayos, tanto en su planta como las plantas de los principales suministradores y equipos principales, que contemple el avance de la fabricación, pruebas, y puesta en marcha, que además recoja el resultado de las mismas.

El formato de este planning será acordado con FMB y se hará entrega tres meses antes del inicio de la actividad productiva.

El Adjudicatario propondrá un listado de pruebas serie y tipo por equipo, subsistema y a tren completo que deberá ser validado por FMB.

Así mismo hará entrega de un planning con las inspecciones de primer montaje (IPM). A las que asistirá el personal de FMB y el Adjudicatario necesitará la aprobación de FMB para lanzar la producción serie. La producción serie no podrá ser lanzada sin haber introducido las mejoras para subsanar los desvíos encontrados.

Las pruebas y puesta en marcha de los trenes seguirán lo especificado en la norma IEC 61133:2023 y cumplirá, como mínimo con el listado de normas de la "UNE-EN 50215 Aplicaciones ferroviarias. Material rodante. Ensayos del material rodante al término de su construcción y antes de su puesta en servicio". En cualquier caso, las pruebas serie y tipo deberán cumplir como mínimo lo especificado en la siguiente tabla, durante el primer mes se presentará un plan preliminar de pruebas a validar por FMB:

<u>PRUEBAS</u>	<u>TIPO/SERIE</u>
<u>GENERAL</u>	
Dimensiones generales por coche	T/S
Extensometría de caja	T
Extensometría de bogie y vibraciones	T

Dimensiones generales, interior y exterior. Caja bogie, Coche-coche	T/S
Gálibo estático	T
Coeficiente de flexibilidad	T
Descarga de rueda	T
Medición entre caras internas de ruedas en AW3	T
Flexibilidad en la suspensión (Souplesse)	T
Prueba de inclinación y resistencia rotacional del bogie (X-factor)	T
Prueba de inscripción en curva, radio mínimo.	T
Peso y distribución de cargas, coche / tren	T/S
Identificación Elementos Principales MA	T/S
Identificación Elementos Principales MB	T/S
Identificación Elementos Principales R	T/S
Niveles de iluminación por coche, sala y cabina	T/S
Estanqueidad al agua	T/S
Iluminación Exterior Alineamiento (Reglaje de faros)	T/S
Relación de Elementos de Dotación	T/S
Aspecto y acabado final.	T/S
Diseño, color, pintura, protección y vinilado	T/S
<u>COCHE MOTOR A - B</u>	

Verificación circuitos eléctricos	
Continuidad	S
Prueba de Rigidez dieléctrica	S
Mando tren	S
Circuitos neumáticos	S
Sistemas de seguridad	S
Circuitos de potencia (convertidores/inversores)	S
Puertas	S
Monitorización - Información (red informática)	S
Verificación resistencia puesta a masa	S
Mediciones de impedancia	T/S
Funcionalidad equipos DE TRACCIÓN	
Equipo tracción	T/S
Funcionalidad equipos neumáticos	
Equipo neumático (freno y circuitos auxiliares)	T/S
<u>COCHE R</u>	
Verificación circuitos eléctricos	
Continuidad	S
Mando tren	S

Circuitos neumáticos	S
Sistemas de seguridad	S
Puertas	S
Monitorización - Información	S
Verificación resistencia puesta a masa	S
Funcionalidad equipos neumáticos	
Equipo de freno	S
<u>UNIDAD ACOPLADA</u>	
ENSAYOS ESTÁTICOS	
Funcionalidad equipos eléctricos	
Circuitos de mando	S
TCN red	S
Generación BT - MT	S
Control tracción	S
Puesta en servicio tracción	S
Registrador de eventos	S
información al viajero	S
Tren Stop	S
Video vigilancia, video información	S

Puertas	S
Climatización (Sala y Cabina)	S
Detector incendios	S
ATP ATO	S
Equipo de radio tren-tierra	S
Edición software embarcado	S
Puerta de evacuación frontal / lateral	T/S
Funcionalidad equipos neumáticos	
Funcionalidad equipos neumáticos	T/S
Prestaciones de equipos	
Baterías	T/S
Alumbrado interior y exterior	T/S
Climatización	T/S
Red TCN	T/S
Información al viajero, Video vigilancia + Video información	T/S
Retrovisión	T/S
Ciclo de trabajo compresor neumático	T/S
Detección de incendios	T/S
Equipo de radio	T/S

Puertas pasaje, cabina y evacuación	T/S
Registrador de eventos	T/S
Información al viajero	T/S
Tren Stop	T/S
ATP/ATO	T/S
Telemonitorización	T/S
Cuenta personas	T/S
Telemando	T/S
Interface Hombre Máquina	T/S
Equipo de tracción y freno	T/S
Convertidor estático y auxiliar	T/S
Pantógrafo	T/S
Resistencia de freno	T/S
Silbato	T/S
Hombre muerto	T/S
Control de acceso al tren	T/S
Radio tren tierra	T/S
Equipos de evacuación frontal y lateral	T/S
Beacons	T/S

Asiento conductor	T/S
Bogie y todos sus componentes	T/S
DINAMICO EN FACTORIA	
Pruebas dinámicas equipo de freno	
Equipo de freno	T/S
Pruebas dinámicas equipo de tracción	
Equipo de tracción + modo socorro	S
Pruebas EMC	
Sistemas de seguridad	
Hombre muerto	T/S
VÍA FMB	
Recepción final	
Comprobaciones después del transporte	S
Compatibilidad Electromagnética EMC	T
Protocolo de aceptación Autoridad Ferroviaria	S
Revisión circuitos mando + puerta frontal después acoplamiento	S
Revisión puertas pasajeros, laterales y sistemas de evacuación.	S
Dinámico en vía	
Gálbo en las líneas por donde podrán circular.	T

Modos de conducción	T
Velocidad Comercial.	T
Niveles de Ruido.	T
Estabilidad, Confort y Fuerzas en Carril.	T
Prueba de desalojo de tren	T
Pruebas de Rescate	T
Mediciones térmicas	T
Mediciones neumáticas	T
Mediciones de consumo energético	T
Mediciones bogies: esfuerzos, tensiones y vibraciones bogie/vía	T
Mediciones eficiencia convertidor estático	T
Prestaciones equipo de freno	
Freno neumático	T/S
Freno de servicio	T/S
Freno de emergencia	T/S
Antibloqueo	T
Modos degradados de freno	T
Freno de Estacionamiento, retención y arranque en rampa.	T
Prestaciones equipo de tracción	

Equipo de tracción + modo socorro	T/S
Prestaciones de equipos y sistemas	
Nivel de ruido exterior / Interior	T
ATP – ATO+TREN STOP	T/S
Contador de personas	T
Confort en zona de pasaje	T
Gálibo en estaciones	T
Estabilidad de marcha	T
Información al Viajero	T
Video vigilancia y video información	T
Radioteléfono	T
Caja Negra	T
WIFI	T
ENGRASADORES DE PESTAÑA	T
<u>REMOLCADO DE UNIDADES</u>	
Acoplamiento entre unidades	
Acople unidades	T/S
Acoplamiento y compatibilidad trenes actuales	T

Los ensayos dinámicos tipo y serie se realizarán en una vía de pruebas fuera de las instalaciones de FMB para lotes 1 y 3. Será responsabilidad del Adjudicatario disponer de vía de pruebas y de los recursos necesarios para realizarlas.

La finalización de estas pruebas por parte del Adjudicatario y su correspondiente validación por parte de FMB se considera como hito de finalización de fabricación de tren en fábrica.

Para la autorización de la salida de tren de fábrica será precisa la firma por parte de FMB del “acta de expedición del tren” que deberá tener al menos los siguientes anexos:

- Protocolo de pruebas serie (dinámico y estático) con los resultados.
- Listado de materiales pendientes de montar.
- Listado de modificaciones no implantadas.
- Checklist (Verificación visual) estado del tren, exterior, interior, bajo bastidor y cubierta/techo.
- Trazabilidad de equipos principales.
- Dossier de fabricación del tren. Indexado en formato digital.
- Pesada y nivelación del tren.
- Hoja de control para la dotación del tren.

Para la aprobación de la primera unidad se deberá completar todas las pruebas tipo y serie, validadas por FMB, así como el proyecto visado por el colegio de Ingenieros Industriales, y la autorización por parte de la autoridad ferroviaria.