



# **PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA ADQUISICIÓN DE 39 TRENES PARA LÍNEA 1, 2, 3 y 4**

**2025**

Jesús Navarro Antón

*Responsable Enginyeria Material Mòbil*

## ÍNDICE

1. CONDICIONES GENERALES.....	14
1.1 OBJETO.....	14
1.2 CONSIDERACIONES GENERALES .....	14
1.3 OFERTAS .....	16
1.4 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	16
1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS .....	17
1.5.1 Características de la vía.....	17
1.5.2 Suministro de energía .....	19
1.5.3 Condiciones climatológicas.....	20
1.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVICIO.....	21
1.6.1 Composición de los trenes.....	21
1.6.2 Aceleraciones y deceleraciones.....	21
1.6.3 Condiciones degradadas de explotación. ....	23
1.6.3.1 Fallo de equipos de tracción/frenado.....	23
1.6.3.2 Fallo de otros equipos críticos .....	23
1.6.3.3 Requisitos generales ante fallo de equipos .....	25
1.6.4 Velocidades .....	25
1.6.5 Freno de emergencia mínimo garantizado (GEBR) .....	26
1.6.6 Compatibilidad electromagnética .....	26
1.6.7 Características de la operación.....	27
1.6.7.1 Transformación cabina a GOA4 .....	27
1.7 NORMATIVA Y VISADO DEL PROYECTO .....	29
1.8 CAPACIDAD TRENES.....	29
1.9 CONTORNO DE REFERENCIA.....	30
1.10 GÁLIBOS .....	30
1.11 ACCESIBILIDAD UNIVERSAL .....	31
1.11.1 Puertas accesibles .....	32
1.11.2 Asientos reservados.....	33
1.11.3 Espacio reservado para pasaje usuarios de silla de ruedas .....	34

1.11.4	Suelo del vehículo.....	36
1.11.5	Información para pasajeros con discapacidad sensorial .....	36
1.11.6	Acondicionamiento exterior.....	37
1.11.7	Paneles luminosos interiores .....	38
1.12	MAQUETA .....	38
2.	ESPECIFICACIONES SOBRE EL MATERIAL MÓVIL .....	40
2.1	TOMA DE CORRIENTE Y LÍNEA PRINCIPAL (A) .....	47
2.1.1	Pantógrafos.....	47
2.1.2	Disyuntor.....	48
2.2	PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA (B).....	51
2.2.1	Suministro y generación de baja tensión .....	51
2.2.1.1	Batería .....	51
2.2.1.2	Convertidores estáticos .....	56
2.2.2	Aparellaje eléctrico .....	60
2.2.2.1	Cables y canalizaciones .....	60
2.2.2.2	Paso eléctrico entre coches.....	63
2.2.2.3	Seccionadores de unidades.....	65
2.2.2.4	Conectores .....	65
2.2.2.5	Relés de maniobra.....	67
2.2.2.6	Tomas de 230V AC .....	69
2.2.3	Faros y pilotos externos .....	69
2.2.4	Circuitos y dispositivos de seguridad .....	72
2.2.4.1	Lazo de tracción .....	72
2.2.4.2	Lazo de freno.....	73
2.2.4.3	Seta de emergencia.....	75
2.2.4.4	Pulsadores de anulación de protecciones .....	76
2.2.4.5	Tiradores de alarma.....	77
2.2.4.6	Central de Registro (Caja Negra) .....	79
2.2.4.7	Detección de incendios.....	83
2.2.5	Retornos de corriente.....	85
2.3	CABINA DE CONDUCCIÓN (C) .....	85

2.3.1	Acceso al puesto de conducción.....	92
2.3.2	Sistema de control de accesos a cabina (CAT) .....	97
2.3.3	Elementos de la cabina y del puesto de conducción.....	102
2.3.4	Asiento del personal de conducción.....	106
2.3.5	Iluminación Puesto de conducción.....	109
2.3.6	Ergonomía del puesto de conducción.....	110
2.3.7	Armarios de dotación .....	115
2.3.8	Puerta frontal de evacuación .....	115
2.4	<b>SISTEMA NEUMÁTICO (D)</b> .....	117
2.4.1	Grupo moto-compresor .....	117
2.4.2	Acondicionamiento del aire .....	120
2.4.3	Depósitos .....	121
2.4.4	Instalación.....	122
2.4.5	Regulación y protecciones .....	123
2.4.6	Suspensión neumática.....	123
2.4.7	Circuitos auxiliares .....	123
2.5	<b>PUERTAS (E)</b> .....	125
2.5.1	<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b> .....	125
2.5.2	<b>REQUISITOS FUNCIONALES</b> .....	130
2.5.2.1	Mando de puertas .....	130
2.5.2.2	Detección de obstáculos por sensibilidad del motor .....	131
2.5.2.3	Detección de obstáculos por borde sensible [antidrag] .....	131
2.5.2.4	Comportamiento ante detección de puerta abierta .....	132
2.5.2.5	Sistemas de desbloqueo.....	133
2.5.2.6	Dispositivo de condena.....	134
2.5.2.7	Indicadores luminosos de puertas .....	135
2.5.2.8	Sonería de mandos y puertas.....	137
2.6	<b>EQUIPO DE FRENO NEUMÁTICO (F)</b> .....	139
2.6.1	Equipo de control del freno neumático.....	139
2.6.2	Antibloqueo o antipatinaje .....	142

2.6.3	Freno de estacionamiento.....	144
2.6.4	Freno de retención .....	146
2.7	EQUIPO DE TRACCIÓN (G) .....	147
2.7.1	Requisitos generales del equipo de tracción.....	147
2.7.2	Electrónica de control de tracción y protecciones .....	150
2.7.3	Antipatinaje y antibloqueo coches motores.....	153
2.7.4	Motores de tracción.....	155
2.7.5	Emisor de consigna de tracción .....	158
2.8	BOGIES (H) .....	160
2.8.1	Bastidor.....	165
2.8.2	Ejes .....	165
2.8.3	Ruedas.....	165
2.8.4	Cajas de grasa.....	167
2.8.5	Suspensiones.....	168
2.8.5.1	Suspensión primaria .....	168
2.8.5.2	Suspensión secundaria .....	169
2.8.6	Traviesa bailadora.....	170
2.8.7	Amortiguadores.....	170
2.8.8	Reductores.....	171
2.8.9	Equipo de freno en el bogie .....	172
2.8.9.1	Timonería.....	172
2.8.9.2	Cilindros de freno.....	173
2.8.9.3	Disco de freno.....	174
2.8.9.4	Guarniciones y Zapatas de freno.....	174
2.8.10	Zapata de limpieza.....	175
2.8.11	Sistema de detección de descarril.....	175
2.9	ENGANCHES (I).....	177
2.9.1	Enganche automático .....	178
2.9.2	Enganche semipermanente .....	179
2.10	CAJA (J).....	181

2.10.1	General .....	181
2.10.2	Tratamiento superficial.....	184
2.10.2.1	Pintura .....	184
2.10.2.2	Vinilo.....	186
2.10.2.3	Acabados y protecciones.....	188
2.10.3	Armarios, cofres y canalizaciones.....	189
2.10.4	Techo .....	193
2.10.5	Departamento de pasaje.....	194
2.10.5.1	Asientos.....	195
2.10.5.2	Asideros.....	196
2.10.5.3	Pavimento.....	198
2.10.5.4	Revestimiento interior .....	200
2.10.5.5	Pasillo de intercirculación .....	201
2.10.5.6	Ventanas y luna frontal .....	202
2.10.5.7	Iluminación interior.....	204
2.11	SISTEMA INFORMÁTICO EMBARCADO (K) .....	207
2.11.1	Red troncal TCN .....	208
2.11.2	Red Ethernet embarcada (REM).....	214
2.11.3	Puesta en marcha y desconexión del tren .....	215
2.11.3.1	Introducción .....	215
2.11.3.2	Puesta en marcha y desconexión local .....	215
2.11.3.3	Puesta en marcha y desconexión remota.....	218
2.12	AIRE ACONDICIONADO, CLIMATIZACIÓN Y VENTILACIÓN (L) .....	219
2.12.1	Equipo de aire acondicionada de sala de pasaje .....	219
2.12.2	Equipo de climatización de cabina .....	220
2.12.3	Mando y control del sistema .....	221
2.12.4	Ventilación de emergencia.....	223
2.13	SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO (M) .....	226
2.13.1	Comunicaciones e integración tren tierra.....	226
2.13.2	Red ethernet embarcada .....	227

2.13.2.1	Bancos y material de laboratorio REM .....	230
2.13.3	Switch REM.....	233
2.13.4	Modelo de datos.....	234
2.13.5	CPU Multipropósito .....	237
2.13.5.1	Características técnicas (HW y Plataforma) .....	237
2.13.5.2	Funcionalidades e integraciones Software .....	238
2.13.5.3	Flota objetivo .....	240
2.13.5.4	Hitos y entregas.....	240
2.13.5.5	Antenas exteriores.....	240
2.13.6	Sistema de Radio DMR.....	241
2.13.6.1	Rack de Radio DMR .....	242
2.13.6.2	Consola de Radio DMR .....	243
2.13.6.3	Antena Radio del tren .....	247
2.13.6.4	Cableado de conexión del sistema Radio DMR.....	249
2.13.6.5	Cargadores de terminal portátil DMR (walkie) en cada cabina .....	251
2.13.6.6	Alcance del sistema Radio DMR .....	251
2.13.7	Megafonía .....	251
2.13.7.1	Centralita de megafonía .....	256
2.13.7.2	Centralita del personal de conducción .....	257
2.13.7.3	Altavoces .....	257
2.13.7.4	Micrófono ambiente .....	257
2.13.8	Interfonía .....	257
2.13.8.1	Centralita de interfonía .....	263
2.13.8.2	Centralita del personal de conducción .....	264
2.13.8.3	Intercomunicador del tirador de emergencia.....	264
2.13.8.4	Relaciones con otros sistemas .....	264
2.13.9	Video vigilancia .....	266
2.13.9.1	Software de video vigilancia .....	267
2.13.9.2	Puesto del personal de conducción .....	269
2.13.9.3	Cámaras .....	271

2.13.10	Video difusión.....	274
2.13.10.1	Software de video difusión.....	276
2.13.10.2	Pantallas video información .....	279
2.13.10.3	Software pantallas video información .....	287
2.13.11	Señalización número de servicio e indicador de lado apertura de puertas .....	288
2.13.12	Contador de personas.....	289
2.13.13	Localización de personas embarcadas (Beacons Bluetooth).....	292
2.14	MODOS DE CONDUCCIÓN .....	294
2.14.1	ATP-ATO L2.....	295
2.14.1.1	Descripción general .....	295
2.14.1.2	Componentes Principales del Sistema .....	296
2.14.1.3	Funcionamiento del Sistema.....	296
2.14.1.4	Modos de Conducción .....	297
2.14.1.5	Filosofía de Seguridad (Fail Safe) .....	298
2.14.1.6	ATP/ATO en L2 con modo Distancia Objetivo (DTG) .....	298
2.14.2	ATP-ATO L4.....	298
2.14.2.1	Especificaciones Sistema CBTC On-Board.....	298
2.14.2.2	Especificaciones Sistema Comunicaciones.....	300
2.14.2.3	Especificaciones Espacios Reserva .....	300
2.14.3	ATP-ATO L1/L3.....	300
2.14.4	Tren – Stop .....	304
2.14.5	Llave Especial.....	308
2.15	SISTEMA DE TELEMONITORITZACIÓ I TELECOMANDAMENT DE TRENS .....	310
2.15.1	INTRODUCCIÓ .....	310
2.15.2	SENSORIZACIÓN A INCORPORAR A LOS TRENES .....	317
2.15.2.1	Requisitos Generales de la Sensorización .....	317
2.15.2.2	Sensorización para la monitorización del consumo energético .....	318
2.15.2.3	Sensorización para la monitorización de los parámetros ambientales del interior de cada coche	319
2.15.3	PLATAFORMA DE MONITORIZACIÓN NATIVA DEL FABRICANTE .....	319
2.15.4	PLATAFORMA DE MONITORIZACIÓN DE ACTIVOS DE FMB (DAVANA), Digital Train320	

2.16 INTEGRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DIGITAL TRAIN EN EL TRENO Y EN SU RED DE COMUNICACIONES.....	320
2.16.1 Equipo de monitorización pasivo del tráfico de la red de tren CIP .....	321
2.16.2 PC de Digital Train .....	322
2.16.3 Antenas 4/ 5G y wifi .....	324
2.16.4 Integración de los datos de la red de tren .....	324
2.16.5 Requisitos de acceso y disponibilidad de datos .....	324
2.16.6 Obligaciones de integración y coordinación .....	325
2.16.7 Contenido de la propuesta técnica.....	325
2.17 TRENES AUSCULTADORES.....	325
2.17.1 Subsistemas y alcance a incluir en los dos trenes auscultadores.....	326
2.18 TELEMANDOS .....	335
3 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN (CBM) .....	342
3.1 METODOLOGÍA .....	342
3.2 CONFIGURACIÓN DE LA PLATAFORMA CBM .....	344
3.3 EQUIPOS BÁSICOS A MONITORIZAR .....	345
3.3.1 Implementación de técnica de mantenimiento basado en fiabilidad (RCM) .....	350
3.4 INTEGRACIÓN CON OTROS SISTEMAS DE INFORMACIÓN .....	352
3.5 DOCUMENTACIÓN .....	352
4. SEGURIDAD FERROVIARIA .....	354
4.1 ENTORNO .....	354
4.2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA .....	355
4.3 OBJETIVOS DE SEGURIDAD FERROVIARIA Y ACEPTACIÓN DE LOS RIESGOS.....	356
4.3.1 Clasificación de los Riesgos .....	357
4.3.1.1 Frecuencia de ocurrencia .....	358
4.3.1.2 Gravedad de las consecuencias .....	359
4.3.1.3 Matriz para la clasificación de riesgos .....	360
4.3.1.4 Determinación del nivel de riesgo.....	361
4.3.2 Aceptación de la Seguridad ferroviaria .....	362
4.3.2.1 Códigos prácticos .....	362
4.3.2.2 Comparación con sistemas similares .....	362

4.3.2.3	Estimación explícita del riesgo.....	363
4.3.3	Listado de accidentes potenciales .....	363
4.4	ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DE SEGURIDAD FERROVIARIA .....	364
4.5	ESTUDIOS Y DOCUMENTACIÓN DE SEGURIDAD FERROVIARIA PARA SISTEMAS NUEVOS.....	364
4.5.1	Plan de Seguridad Ferroviaria.....	365
4.5.2	Análisis Preliminar de Riesgos.....	366
4.5.3	Registro de Peligros (Hazard Log) .....	367
4.5.3.1	Registro de Peligros (Hazard Log): Exportaciones .....	368
4.5.4	Análisis de Modo de Fallos, de sus Efectos y Criticidad (AMFEC) .....	369
4.5.5	Notas Técnicas de Seguridad .....	369
4.5.6	Lista de Elementos Críticos para la Seguridad Ferroviaria (LECS).....	370
4.5.7	Informe de Verificación .....	371
4.5.8	Informe de Validación .....	371
4.5.9	Safety Case Diseño .....	372
4.5.10	Safety Case de la puesta en servicio (PeS) .....	372
4.5.11	Informe de Evaluación y Certificado ISA.....	373
5.	CIBERSEGURIDAD FERROVIARIA .....	376
5.1	REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA LA FASE DE DISEÑO E INTEGRACIÓN .....	376
5.2	REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA LA FASE DE SOPORTE Y MANTENIMIENTO.....	380
6.	PROTECCIÓN CIVIL .....	383
6.1	COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO .....	383
6.2	REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO Y CONDICIONES DE EVACUACIÓN	383
6.3	REQUISITOS DE SEGURIDAD CONTRA EL FUEGO EN LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS ....	384
6.4	SISTEMAS DE CONTROL Y GESTIÓN DEL FUEGO .....	385
6.5	COMPORTAMIENTO FRENTE AL RESBALAMIENTO .....	387
6.6	SEÑALIZACIÓN EN EL INTERIOR DEL TREN.....	388
6.7	DISPOSITIVO DE EVACUACIÓN LATERAL.....	388
6.8	SEÑALIZACIÓN.....	389
6.9	RIESGO ELÉCTRICO.....	389
7	DOCUMENTACIÓN .....	391

<b>8 FORMACIÓN .....</b>	<b>396</b>
8.1 GENERALIDADES.....	396
8.2 PERSONAL IMPLICADO Y CONTENIDO .....	396
8.3 PLAN DE FORMACIÓN.....	398
8.3.1 Cabinas de simulación de conducción de alta inmersión.....	400
8.3.1.1 Representaciones Virtuales .....	402
8.3.1.2 Sistema de Sonido.....	402
8.3.1.3 Comunicaciones .....	403
8.3.1.4 Sistema de Visualización.....	403
8.3.1.5 Mandos de Conducción Reales .....	403
8.4 MATERIAL DIDÁCTICO .....	404
<b>9 SOSTENIBILIDAD .....</b>	<b>406</b>
9.1 DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTO VERIFICADA.....	406
9.2 DECLARACIÓN DE CUMPLIMIENTO DEL REACH .....	408
9.3 INSTRUCCIONES ESPECÍFICAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS .....	409
9.4 PESO .....	410
9.5 VIBRACIONES .....	411
9.6 RUIDO .....	412
9.7 CONSUMO ENERGÉTICO.....	413
<b>10 NORMATIVA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS Y PARA LA RECEPCIÓN DE INFORMACIÓN GRÁFICA.....</b>	<b>415</b>
10.1 GENERALIDADES.....	415
10.2 NORMATIVA PARA LA ELABORACIÓN Y RECEPCIÓN DE PLANOS.....	415
<b>11 INGENIERÍA, FABRICACION, PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA.....</b>	<b>415</b>
11.1 PERSONAL DEL ADJUDICATARIO.....	416
11.1.1 Organigrama detallado.....	417
11.1.2 Intercambio de documentación y comunicaciones de proyecto .....	418
11.2 APROBACIÓN DEL PROYECTO E INSPECCIÓN DE LA FABRICACIÓN.....	419
11.2.1 Inspección y pruebas durante la fabricación .....	420
11.2.2 Plazos e información a suministrar previos a pruebas tipo e inspecciones del primer artículo (FAIs). .....	422
11.2.3 Plazos e información a suministrar previos a inspecciones, pruebas serie y/o ensayos... .....	423

---

11.2.4	Derecho de FMB para solicitar repetir cualquier tipo de pruebas inspecciones y/o ensayos	423
11.2.5	Recursos para las pruebas, inspecciones y/o ensayos.....	423
11.2.6	Principales operaciones de control .....	423
11.2.6.1	Control de las Cajas .....	424
11.2.6.2	Programa de control de los bogies .....	436
11.2.6.3	Programa de las principales operaciones de control de los motores de tracción .....	437
11.2.6.4	Control del equipo de tracción, convertidores estáticos y resto de equipos electrónicos.	
	439	
11.2.6.5	Control de los subcontratistas.....	440
11.2.6.6	Operaciones de control de piezas mecánicas y materias primas.....	446
11.2.7	Niveles de control a aplicar a los diferentes órganos del vehículo .....	452
11.2.7.1	Caja .....	453
11.2.7.2	Bogies.....	455
11.2.7.3	Motores de tracción .....	456
11.2.7.4	Equipo de tracción .....	456
11.2.8	Ensayos y controles .....	457
11.2.8.1	Generalidades .....	457
11.2.9	Gestión de la fabricación.....	458
11.2.9.1	Plan de control del Adjudicatario .....	458
11.2.9.2	Principios del programa de la Inspección de fabricación .....	460
11.3	PLANNING DE FABRICACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA .....	462

## INDICE DE ANEXOS

1. 21-538-MANUAL PantallesVideodifusió-Trens
2. NORMATIVA PER A L' ELABORACIÓ DE PLÀNOLS I PER A LA RECEPCIÓ D' INFORMACIÓ GRÀFICA
3. Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra v2
4. Definició Pantalles video-difusió nous trens\_V10
5. Especificaciones Arquitectura Sistemas Centrales v2.7
6. Guía básica de integración con la CPU multipropósito v3
7. PPT-Trens2025\_DIGIN-Annexos
8. NTOTIC\_011 MAPA DE RIESGOS OT+IICC
9. NTOTIC\_012 DESCRIPCION DE LOS CONCEPTOS DEL LISTADO SuC
10. NTOTIC\_014 REQUISITOS SEGURIDAD PARA SISTEMAS OPERACIONALES FMB
11. NTOTIC\_017 PRÁCTICAS SEGURAS DE CODIFICACIÓN DE PLC
12. NTOTIC\_018 GUIA BASTIONADO ENS
13. TRAZADO\_L1\_Mercat\_Fondo
14. TRAZADO\_L2-Passeig\_Artigues
15. TRAZADO\_L3-Zona\_Catalunya

## 1. CONDICIONES GENERALES

### 1.1 OBJETO

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas tiene por objeto definir los principios para el diseño y construcción de 39 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.

### 1.2 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 propuesta 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 cumplimiento del pliego en todos sus puntos es obligatorio, siendo excluidas las propuestas que no cumplan estrictamente este pliego.
- 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 un periodo en el mínimo de 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 poder recuperarse de una forma fácil. 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 serán criterios fundamentales 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 10 años un sistema altamente eficaz.
- Los sistemas de información al pasajero deberán ser de última generación y altamente fiables.

Otras cuestiones importantes son las siguientes:

- Los trenes deben poder circular con el actual sistema de señalización GOA nivel 2, pero que 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 de ser validado por FMB en un plazo máximo de 2 meses.

### 1.3 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.

### 1.4 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 informática 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/m<sup>2</sup>.
- AW3: AW1 + Pasajeros de pie 6 personas /m<sup>2</sup>.
- AW4: AW1 + Pasajeros de pie 8 personas /m<sup>2</sup>.

## 1.5 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 de 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.

### 1.5.1 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	35 m
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 cochertas 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 cochertas 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 1/8.5 1/9	1/4 1/4.7 1/6.33 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.

### 1.5.2 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 -1500 Vcc para la línea 1 y +1200 Vcc para las líneas 2, 3 y 4 (previéndose una posibilidad de futura alimentación en estas líneas a 1500 Vcc). Por lo tanto, los trenes ofertados deberán permitir trabajar indistintamente en una u otra tensión sin realizar modificación alguna.

En FMB los niveles y tolerancias de tensiones de alimentación son las marcadas por la norma UNE-EN 50163:2005/A2:2020.

### 1.5.3 Condiciones climatológicas

Los vehículos, así como sus subconjuntos, deberán estar diseñados para soportar condiciones climáticas extremas, operando de forma fiable en un rango de temperatura ambiente comprendido entre -15 °C y +50 °C. Asimismo, se considerará que en el interior de cofres, armarios y compartimentos cerrados pueden alcanzarse temperaturas de hasta 70 °C, por lo que todos los equipos y componentes alojados en estos espacios deberán estar preparados para trabajar de forma continua a dichas temperaturas sin merma en su funcionalidad ni en su vida útil.

Todos los equipos electrónicos auxiliares destinados al control, protección, alimentación, supervisión y funciones equivalentes deberán cumplir con los requisitos establecidos en la norma EN 50155, garantizando como mínimo la categoría T3 en lo referente al comportamiento térmico. Por su parte, los equipos electrónicos de potencia deberán cumplir con la norma IEC 61287 o equivalente, de acuerdo con su naturaleza y exigencia operativa.

El diseño de todos los sistemas deberá tener en cuenta la existencia de variaciones térmicas bruscas, especialmente en escenarios de transición entre entornos cerrados (como túneles) y espacios exteriores expuestos a la intemperie, sin que tales fluctuaciones afecten al rendimiento ni a la integridad estructural o funcional de los equipos.

Dado que el estacionamiento de las unidades podrá realizarse en exteriores, deberá considerarse la exposición continua a fenómenos meteorológicos adversos. Se establecerá como referencia una humedad relativa ambiente máxima del 95 %, debiendo garantizar los materiales y sistemas su correcto comportamiento en tales condiciones.

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. En consecuencia, se dotará a todos los elementos de las protecciones interiores y exteriores necesarias para impedir la aparición de óxidos, corrosión o cascarillas, garantizando en todo caso una durabilidad mínima de 40 años en condiciones de operación normales.

Finalmente, se establece que la temperatura media habitual en el interior de los túneles será de 35 °C, valor que deberá ser considerado como referencia en el dimensionado térmico de los sistemas embarcados.

## 1.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SERVICIO

### 1.6.1 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 MA<sub>1</sub>-MB<sub>1</sub>-R-MB<sub>2</sub>-MA<sub>2</sub>. 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).

### 1.6.2 Aceleraciones y deceleraciones

#### a) Aceleraciones a efectos de dimensionamiento

En recta horizontal, en toda la gama de velocidades de 0 a 40 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 aceleración media de 1,2 m/s<sup>2</sup> con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

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/s<sup>3</sup>, 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.

La aceleración residual será de al menos 5 cm/s<sup>2</sup> a la velocidad máxima de diseño (90 km/h), funcionando en modo normal, sobre una vía a nivel.

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 con carga máxima (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 las siguientes curvas para cada una de las tensiones de catenaria definidas en el proyecto (ver apartado 1.6):

- Curvas 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 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.

- Curvas de “Consumo contra Tensión de catenaria”, para tracción y freno eléctrico.
- Curvas de “Potencia en llanta/corriente de línea contra velocidad del tren” en carga máxima en vía a nivel, para tracción y freno eléctrico, para tensión nominal, mínima y máxima.

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

**b) Deceleraciones a efectos de dimensionamiento**

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 m/s<sup>2</sup> con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

La deceleración de emergencia será de 1,3 m/s<sup>2</sup> con la tolerancia definida en la norma UNE EN 13452.

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.

**c) Aceleraciones y deceleraciones en servicio**

La aceleración en el arranque será regulable en el taller por parte de FMB entre los valores 0,8 y 1,2 m/s<sup>2</sup>.

La deceleración máxima de 1,2 m/s<sup>2</sup> 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/s<sup>3</sup>.

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.

#### 1.6.3 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:

##### 1.6.3.1 Fallo de equipos de tracción/frenado

Con un 75 % de los equipos de tracción/freno operativos, el tren deberá ser capaz de arrancar, frenar y circular a velocidad máxima de servicio en cualquier condición de carga, mínima adherencia y máxima rampa del trazado, sin superar los límites de proyecto.

No se admitirán reducciones de aceleración o deceleración superiores al 10 % respecto a condiciones nominales.

Con un 50 % de los equipos de tracción/freno disponibles, el tren deberá poder circular hasta la estación más próxima - en cualquier condición de carga, adherencia y rampa del trazado - y continuar posteriormente hasta el depósito sin necesidad de intervención externa.

Con un 25 % de los equipos disponibles, deberán garantizarse, sin rebasar las condiciones límites de los elementos de la unidad, la circulación de una unidad a plena carga, hasta la estación más próxima, donde desaloje viajeros, y continúe su marcha hasta depósito. En fase de proyecto se analizará la máxima rampa en que se puede cumplir con este requisito.

##### 1.6.3.2 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 para asumir completamente el esfuerzo de frenado sin necesidad de intervención del personal de conducción, manteniendo las prestaciones dinámicas requeridas.
- 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 fallo general del sistema existirá un conmutador que activará el modo socorro del tren. Este conmutador deberá desactivar por completo todo el sistema informático y se deberá asegurar que el tren puede llegar a la siguiente estación por sus propios medios.
- 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.

En caso de pérdida de alimentación auxiliar por fallo de dos convertidores, deberán mantenerse operativos mediante sistemas de emergencia (baterías) la iluminación básica, megafonía, comunicaciones y otros sistemas de seguridad esenciales.

- 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

#### 1.6.3.3 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 previo a la finalización del diseño.

#### 1.6.4 Velocidades

La velocidad máxima de los trenes será de 80 km/h en recta horizontal en AW3, pero todos los elementos de los mismos deben estar previstos para poder soportar, sin deterioro o envejecimiento prematuro, la velocidad de 90 km/h en AW3.

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

#### 1.6.5 Freno de emergencia mínimo garantizado (GEBR)

La deceleración mínima garantizada (GEBR siglas en inglés) no será inferior a 0,9 m/s<sup>2</sup> considerando las siguientes hipótesis:

- Diámetro máximo de rueda (840 mm).
- Distribución de cargas: El coche más pesado sin freno se considerará con carga AW2. El resto de 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.

En fase de proyecto el Adjudicatario calculará el valor de GERB en mojado con un valor de adherencia de 11% y deberá demostrar que este GERB no será inferior a 0,7 m/s<sup>2</sup>. Dicho valor se deberá demostrar mediante prueba específica.

#### 1.6.6 Compatibilidad electromagnética

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

- Cumplimiento de las normas UNE EN 50121.
- 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.
- En su caso, cumplimiento de EN 50592:2016 si se utilizan contadores de ejes como sistema de detección.

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.

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

#### 1.6.7 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.

##### 1.6.7.1 Transformación cabina a GOA4

La oferta económica se valorará, y deberá incluir necesariamente los 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 cuadrado) 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.
- Adaptación del sistema de evacuación frontal, conservando el acceso a la puerta de evacuación y su mecanismo de desbloqueo accionable por el pasaje. Se deberán mantener las condiciones de evacuación originales incorporando un mecanismo de desbloqueo accionable por el pasaje garantizando la seguridad.
- 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 el HMI.
- 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.

## **1.7 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 su aplicación. 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 de Cataluña, 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.

## **1.8 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, galibo, 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:

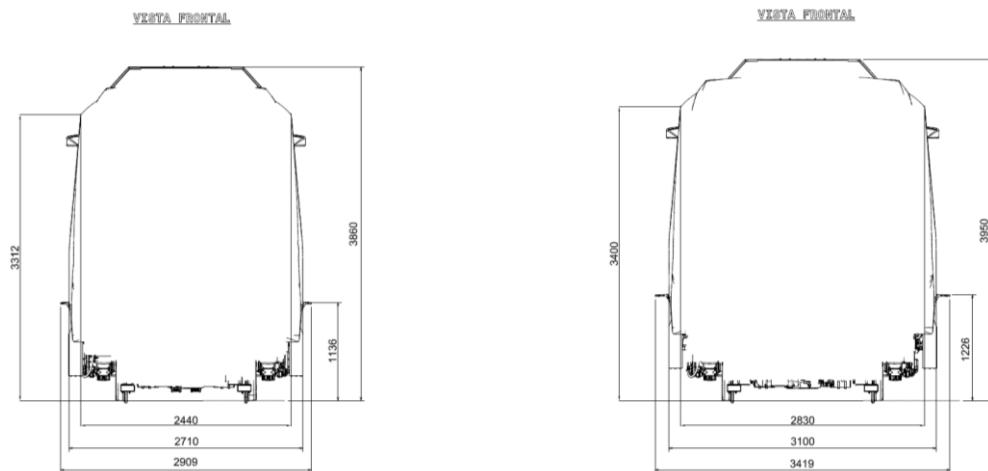
COCHE	Asientos	PMR	Capacidad Asientos	Sentados + AW1	Sentados + AW2	Sentados + AW3	Sentados + AW4
MA1	20	2	20	71	123	175	226
MB1	24	0	24	77	129	182	234
R	20	2	20	76	132	187	243
MB2	24	0	24	77	129	182	234
MA2	20	2	20	71	123	175	226

<b>TOTAL</b>	108	4	108	372	636	901	1163
--------------	-----	---	-----	-----	-----	-----	------

Se considerará para el cálculo, una huella bajo asiento de 350 mm. El Adjudicatario, en fase de proyecto, deberá de demostrar mediante el cálculo de capacidad que cumple con las condiciones de este pliego.

### 1.9 CONTORNO DE REFERENCIA

El contorno de referencia definido en este apartado 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. El Adjudicatario deberá realizar, en fase de proyecto, un estudio completo de gálibos conforme a norma UNE-EN 15273 que valide esta compatibilidad en condiciones reales, según especificaciones de este pliego. La sección y volumen útil del tren deberán mantenerse, como mínimo, en los niveles actuales, y cualquier desviación deberá ser debidamente justificada y validada por FMB en base a criterios de gálibos, accesibilidad y capacidad de transporte.



### 1.10 GÁLIBOS

El tren deberá cumplir con los gálibos estático, cinemático y dinámico aplicables a toda la red FMB (líneas, enlaces, depósitos y cocheras), conforme a la norma UNE-EN 15273 y otras normas relevantes.

La validación comprenderá simulación dinámica multicuerpo validada, considerando:

- Entrega de expresiones de ocupación estática, cinemática y dinámica del tren, con cálculo y justificación detallada de parámetros conforme a UNE-EN 15273, incluyendo identificación de secciones críticas en la infraestructura.

- Estudios bajo condiciones operativas representativas, incluyendo tara y carga máxima según UNE-EN 14363, rangos de velocidad definidos por la explotación, y escenarios de degradación realistas (desinflado de balones, desgaste de ruedas y suspensiones, etc).
- Modelado y simulación basados en escaneo láser 3D de alta resolución de toda la infraestructura afectada, ejecutados por el adjudicatario, conforme a UNE-EN ISO 19650 para gestión de información BIM, y entrega de modelos en formato compatible con software de simulación validado.
- Plan detallado de ensayos de validación teórica y experimental, incluyendo análisis de interferencias en piquetes, cruces con trenes de la misma serie y otras series en circulación.
- Proceso iterativo de ajuste de parámetros y validación cruzada con datos obtenidos en pruebas reales de campo, incluyendo instrumentación dinámica y ensayos en línea.

Durante la fase de proyecto se deberá entregar:

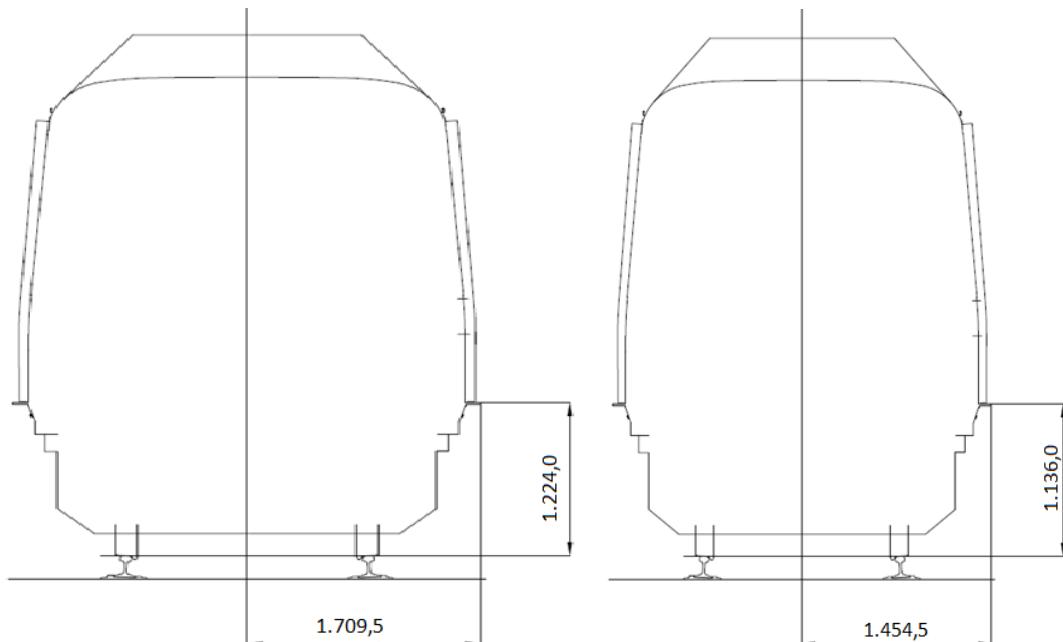
- Parámetros actualizados y gálibo validado final, con informes técnicos detallados.
- Modelos digitales tridimensionales actualizados de toda la infraestructura afectada.
- Resultados completos de evaluación dinámica en toda la red, con documentación según UNE-EN 13803.
- Definición y justificación de perfiles de velocidad óptimos y definitivos para cada línea afectada.
- Informe completo de resultados de pruebas experimentales, con instrumentación y análisis de resultados conforme a UNE-EN 14363.
- Secciones transversales de túneles y demás estructuras con envolventes acotadas, generadas a intervalos máximos de 5 metros.

## 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 Ferroviari) 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 y para L2, L3 y L4

Siguiendo las especificaciones del Decreto 209/2023 de 28 de noviembre que establece el nuevo Código de Accesibilidad de Cataluña, cuya redacción tiene en cuenta la unificación de criterios con las normativas de los países del entorno europeo, los vehículos ferroviarios deben cumplir las siguientes condiciones para ser considerados accesibles.

#### 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 galibio 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 galibio 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.
- La protección del pasaje para que no pueda ser golpeado en la puerta accesible estará asegurado por el sistema de detección de obstáculos de las puertas que cumplen con la norma europea EN14752.

Las puertas accesibles tendrán un zumbador en el pulsador interno y externo. Deberá emitir un aviso con un tono y frecuencia distinto a los avisos de apertura y cierre de las puertas, que permita su distinción. El aviso sonará dos segundos antes de la habilitación / permisión y se mantendrá activo mientras el tren se encuentre estacionado con las puertas abiertas hasta que se active el aviso de cierre, con una separación entre avisos de dos segundos para facilitar su distinción.

#### 1.11.2 Asientos reservados

El tren dispondrá de veinte asientos reservados a personas con movilidad reducida no usuarias de sillas de ruedas, repartidos en filas de cuatro asientos reservados por coche, ubicados en el centro de cada uno de ellos.

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 serigraffías/pintados fácilmente erosionables y/o desgastables. El método a utilizar para la integración de la señalización en el asiento deberá de 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.
- Disponer de apoyabrazos intermedios en su diseño y en sus proximidades que facilite levantarse a las personas con movilidad reducida
- En la zona de asientos reservados deberá existir un pictograma de perro de asistencia.

#### 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, en las proximidades de las primeras puertas. 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.
- 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) Los cambios de dirección deben garantizar un espacio libre de 1,20 m de diámetros.
  - d) Debe contener un espacio libre para giros de 1,50 m de diámetro, que puede invadir el espacio reservado.
  - e) 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.
- 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.
- Se instalará un pulsador de solicitud de parada, debe ser luminoso de color azul, y debe tener confirmación sonora.
- 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.

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 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 las pisaderas deberá evitar la acumulación de agua y facilitar el desagüe. Las pisaderas de las puertas deberán de 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.

#### 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.

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

El sistema deberá cumplir íntegramente con 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.).

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 modificaciones 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 desbloqueos.
- 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.

Se realizarán dos maquetas miniatura por lote a escala del todo el tren para personas con discapacidad visual. 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 Adjudicatarios 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, por consiguiente, a priori, se descartan soluciones tipo "etiqueta pegada". 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 Adjudicatario en fase de proyecto demostrará el cumplimiento de la norma EN 14363, incluyendo la seguridad contra el descarrilamiento en vía alabeadas y la evaluación del comportamiento dinámico, 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 ≤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, entendiendo 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.
- El tren deberá ser capaz de circular en condiciones de AW4 sin comprometer la deceleración de emergencia mínima garantizada. Si el análisis del Adjudicatario demuestra una pérdida de prestaciones superiores a las toleradas, deberán incorporarse las medidas de diseño necesarias para su compensación, y éstas deberán ser validadas por FMB.
- 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 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 modificación posterior a la validación técnica deberá ser previamente aprobada por FMB.

Todos los equipos presentes en el tren estarán convenientemente refrigerados/ventilados de manera que maximicen su vida útil y estarán protegidos en cofres con tapa contra proyecciones de piedras u otros objetos que pueda haber en la vía.

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 Ofertante aportará referencias suficientes (2 o más) de experiencias demostradas (en servicio comercial de al menos dos años) de los principales equipos y sistemas en un servicio metropolitano al necesario por FMB. Se aceptarán referencias de equipos no exactamente iguales cuando las diferencias solo sean debidas a la adaptación a las características

operacionales de FMB. Dichas referencias deberán demostrarse mediante Certificado de Operadores donde indiquen que los equipos y sistemas están cumpliendo con los requerimientos de fiabilidad y seguridad en aquellas redes donde están prestando servicio. Deberán aportarse obligatoriamente referencias de como mínimo los siguientes sistemas y equipos:

**Subsistema A:** Toma de corriente y línea principal:

- Pantógrafo.
- Disyuntor.

**Subsistema B:** Producción y distribución eléctrica:

- Convertidores auxiliares.
- Batería.
- Relés.

**Subsistema C:** Elementos de gobierno y control:

- Central de registro (caja negra).
- Asiento personal de conducción.

**Subsistema D:** Equipo neumático:

- Grupo moto-compresor.
- Torre de secador.

**Subsistema E:** Puertas:

- Puertas acceso pasajero (incluido sistema antidrag).

**Subsistema F:** Frenos:

- Control de Freno.

**Subsistema G:** Tracción:

- Equipo de tracción.
- Motor de tracción.

**Subsistema H:** Bogies:

- Bastidor de bogie.
- Traviesa y corona de unión.
- Suspensión primaria.
- Suspensión secundaria.
- Reductor.
- Ruedas.
- Ejes.
- Caja de grasa.

**Subsistema I:** Enganches y conexiones:

- Enganche automático.
- Enganche semipermanente.

**Subsistema J:** Caja:

- Estructura.
- Cabeceros.
- Pasillo.

**Subsistema K:** Informática embarcada:

- Electrónica de control central.
- Red de comunicación.

**Subsistema L:** Equipos de aire acondicionado:

- Equipo aire acondicionado cabina
- Equipo aire acondicionado sala

**Subsistema M:** Equipos de información a pasaje y vigilancia:

- Sistema información pasaje.
- Sistema de Video vigilancia.
- Sistema de Video información.
- Sistema detección de incendios.
- Sistema contador de pasaje.

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 regulación manual, como interruptores, selectores, válvulas o mandos mecánicos, deberán estar situados a una altura y posición que permita su uso sin necesidad de utilizar plataformas, escaleras u otros medios auxiliares. En ningún caso se aceptará la instalación de mandos o dispositivos de accionamiento que resulten inaccesibles para una persona con una altura de 1,60 metros, en cumplimiento de los criterios ergonómicos establecidos por la norma UNE-EN ISO 14738:2010, relativa a los principios de diseño ergonómico para componentes de máquinas y espacios de trabajo.

## 2.1 TOMA DE CORRIENTE Y LÍNEA PRINCIPAL (A)

La línea de tensión de tracción estará convenientemente protegida y cableada como se indica en la 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.

### 2.1.1 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.

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 que la ubicación cumple con los gálibos estáticos, dinámicos y cinemáticos según la norma EN 15273, que respeta las envolventes de la infraestructura de la red de FMB, y que garantiza la compatibilidad con la catenaria conforme a la norma EN 50367.

Los pantógrafos deberán cumplir con los requisitos establecidos en las normas UNE-EN 50206-1 y 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.

El esfuerzo estático de contacto será ajustable, con un valor nominal de  $70 \pm 10$  N, mantenido de forma uniforme a lo largo de todo el campo de operación del pantógrafo. Las bandas de frotamiento serán de grafito, y el Adjudicatario deberá homologar al menos dos proveedores de bandas antes de la puesta en servicio del primer tren.

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 pantógrafo podrá ser elevado y bajado manualmente desde el interior del tren en caso de emergencia, además de poder ser controlado (subida/bajada/anulación) desde la cabina de conducción mediante la pantalla de ayuda a la conducción y mediante un pulsador físico dedicado a tal fin. La maniobra de abatimiento será suave y amortiguada, garantizando la protección de la línea de contacto.

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. Para ello se deberá disponer de un sistema de bloqueo mecánico o eléctrico que impida su abatimiento en dichas circunstancias. 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.

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.

### 2.1.2 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 antiflama y conforme a los estándares ferroviarios.

El sistema de control asegurará el aislamiento automático del equipo causante de la anomalía, y sólo permitirá el rearne si dicha causa ha desaparecido. El disyuntor podrá rearne 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.
- UNE-EN 50388: Coordinación de protección entre el disyuntor de a bordo y la subestación.
- UNE-EN 50123-3 (o su sucesora IEC 61992-3): Equipamiento eléctrico en corriente continua para material rodante – componentes auxiliares.

Las protecciones del disyuntor estarán coordinadas con las de la subestación eléctrica correspondiente, conforme a lo indicado en la norma UNE-EN 50388.

## 2.2 PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA (B)

### 2.2.1 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. Éstos incluirán equipos tales como los convertidores estáticos y las baterías necesarios 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.

#### 2.2.1.1 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.

Para el dimensionamiento se considerará:

1. Que las baterías deben alimentar durante un mínimo de 1 hora los siguientes sistemas:
  - Alumbrado y señalización interior y exterior.
  - ventiladores de emergencia.

- Puesta en marcha.
  - Comunicaciones.
  - Sistemas de seguridad.
2. Que los equipos alimentados, desde el previo de batería, en modo de espera (stand-by) deberán mantenerse en funcionamiento durante al menos 4 días.
3. Funcionamiento del sistema de rescate o última milla.

Estos cálculos se justificarán debidamente en la fase de proyecto.

Como mínimo, los siguientes subsistemas/equipos funcionarán mediante alimentación de batería ante la ausencia de tensión de línea:

- Circuitos eléctricos de mando.
- Sistema informático embarcado.
- Alumbrado ordinario durante 5 minutos tras la pérdida de tensión, pasado el cual funcionará exclusivamente el alumbrado de emergencia.
- Megafonía.
- Radiotelefonía y comunicaciones tren-tierra bidireccionales.
- Faros y pilotos exteriores.
- Accionamiento eléctrico de puertas de pasaje (una apertura general).
- Control de equipo neumático.
- Electroválvulas antibloqueo.
- Avisadores acústicos de cierre de puertas.
- Sistema de Tren Stop.
- Sistemas ATP-ATO (actualmente alimentados a 72 V).
- Sistema de información al viajero.
- Equipo de registro de seguridad (caja negra).

- Sistema de videovigilancia.
- Ventilación de emergencia.
- Pantógrafo.
- Acceso y control de cabina.
- Sistema de rescate o última milla
- Otros que el Adjudicatario proponga y justifique durante el 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 activará una señalización luminosa visible desde el exterior para facilitar su recarga, según especificaciones de este pliego. Estos umbrales se justificarán con las curvas de descarga correspondientes.

El tren dispondrá de un relé de tensión mínima para supervisión continua de la tensión de batería. Si se detecta una tensión inferior a un umbral definido, el sistema de control dará orden de apagado controlado del tren para preservar energía suficiente para el posterior arranque y recarga.

Cuando la tensión de batería descienda por debajo de un segundo umbral mínimo, definido conforme a la norma EN 50155, el sistema deberá forzar la desconexión de todas las cargas conectadas al bus de continua alimentado desde baterías (previo de batería). Esta medida tiene por objeto salvaguardar la integridad de los equipos electrónicos embarcados, evitando su funcionamiento fuera de los márgenes de tensión especificados y previniendo daños derivados de situaciones de baja tensión o descarga profunda a la batería.

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 de 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 tensiones dentro de los márgenes permitidos según la UNE-EN 50155:2018, apartado 5.1.

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.

#### 2.2.1.1.1 Sistema de rescate o última milla

El tren dispondrá de un sistema de alimentación auxiliar a partir de las baterías ya existentes en el tren que permita la funcionalidad de "última milla", entendida como la capacidad de autopropulsarse de forma totalmente autónoma sin tensión de catenaria, para trayectos limitados ante una interrupción del suministro.

Este sistema garantizará que el tren pueda desplazarse una distancia mínima de 1,5 km en condiciones de vía con pendiente 0 % y carga AW3 (ocupación máxima), manteniendo capacidad de tracción, frenado y comunicación embarcada.

El sistema de baterías destinado a esta funcionalidad deberá cumplir los siguientes requisitos técnicos:

- Autonomía mínima garantizada de 1,5 km en autopropulsión continua.
- Velocidad operativa en este modo: 10 km/h.
- Disponibilidad del sistema desde reposo, incluso tras desconexión de catenaria o corte de tracción principal.
- Integración con el sistema de control y monitorización del tren, con posibilidad de activación manual del modo última milla.
- Supervisión del estado de carga, temperatura y ciclos de vida, integrados en el sistema de diagnóstico embarcado.
- Cumplimiento de la normativa de seguridad contra incendios y materiales: UNE-EN 45545.
- Diseño conforme a condiciones ambientales ferroviarias: EN 50155 y EN 60077.
- El alumbrado de emergencia, comunicación, la ventilación de emergencia y las funciones de seguridad del tren estarán activos.

- Existirá un control de velocidad que impida que el tren supere los 30 km/h en caso de pendiente.

Este sistema no sustituye el modo socorro del sistema informático del tren, pero deberá estar operativo en condiciones nominales, incluyendo arranque desde parado, aceleración controlada y parada segura, cumpliendo los requerimientos de seguridad funcional correspondientes.

#### 2.2.1.2 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.

##### 2.2.1.2.1 *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. Solo se admitirá como excepción justificada L1.

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.

#### 2.2.1.2.2 *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.

La ventilación se realizará sin filtros, pudiéndose usar rejillas de protección. El diseño deberá ser aprobado por FMB en fase de proyecto.

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.

Cada convertidor auxiliar deberá estar protegido externamente frente a sobreintensidades y sobretensiones mediante un sistema de protección independiente, más rápido que las protecciones internas del propio convertidor, y selectivamente coordinado con ellas. Este sistema de protección será rearmable desde cabina y supervisado mediante el sistema de diagnóstico 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.

Las tarjetas de control estarán dispuestas en un rack central, accesible, con codificación que impida errores de inserción. Dispondrán de LEDs indicadores de estado y avería. El rack estará en una zona visible, accesible y separada de la tensión de tracción.

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.

#### 2.2.1.2.3 *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.

#### 2.2.1.2.4 *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 de 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.

#### 2.2.1.2.5 *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. En fase de proyecto, el adjudicatario deberá proponer al menos dos fabricantes alternativos.

#### 2.2.1.2.6 *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.

#### 2.2.1.2.7 *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.

#### 2.2.1.2.8 *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.

## 2.2.2 Aparellaje eléctrico

### 2.2.2.1 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.

#### 2.2.2.1.1 *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 (hazard levels según HL1, HL2 o HL3 en función del uso).

- 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.

#### 2.2.2.1.2 *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.

#### 2.2.2.1.3 *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 briduras 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 HL3 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.

#### 2.2.2.1.4 *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 HL3, o mejor) que impidan cortes por bordes metálicos. No se permitirá bajo 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 6x el diámetro exterior del cable. En el caso de cables apantallados, se aplicarán criterios más exigentes.

#### 2.2.2.1.5 *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.

#### 2.2.2.1.6 *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 diseño.

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.

#### 2.2.2.1.7 *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 recorridos de alta tensión, los cables estarán encapsulados y su disposición garantizará total seguridad para el personal, según requisitos de EN 50153.

Todos los pasos a través de mamparos, suelos o divisiones estructurales deberán estar sellados y estancos mediante prensaestopas o sistemas equivalentes aprobados.

#### 2.2.2.1.8 *Validación*

En fase de diseño, 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.

#### 2.2.2.2 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 briduras 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 galibio 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 testeros.
- Justificación del comportamiento en curva y dinámica de circulación.
- Propuesta de codificación, identificación y protección mecánica.

- Listado de circuitos que atraviesan cada manguera.

#### 2.2.2.3 Seccionadores de unidades

Las composiciones de los trenes tendrán que ser diseñadas de tal forma que puedan funcionar como semiunidad, en caso necesario, entendiendo como semiunidad una composición formada por MA-MB y/o MA-MB-R, separada físicamente. Este modo de funcionamiento deberá ser fácilmente configurable y sin elementos externos (conectores, jumpers,...) a los del propio tren.

Se instalarán seccionadores de líneas de tren con objeto de poder anular eléctricamente una semiunidad averiada (MA<sub>1/2</sub>-MB<sub>1/2</sub>-R), de modo que se pueda circular con la otra semi unidad (MA<sub>1/2</sub>-MB<sub>1/2</sub>-R) no averiada y sin que afecte a los sistemas de seguridad del tren.

El número de seccionadores, las líneas a incluir, así como su ubicación en el tren, deberá ser justificada por el Adjudicatario en fase de proyecto.

Los seccionadores dispondrán de placas con la identificación de las líneas o grupos de líneas que seccionan.

Este modo de funcionamiento deberá de ser validado por FMB en fase de Proyecto.

#### 2.2.2.4 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 los mismos.

Todos los conectores del tren deberán disponer de un sistema de enclavamiento mecánico, que impida que se puedan aflojar por el efecto de las vibraciones. No se deberán requerir herramientas especiales para aflojar los conectores, pudiéndose aflojar con la mano. También estarán dotados de codificación mecánica que impida la inserción de conectores en posiciones erróneas.

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.

#### 2.2.2.5 Relés de maniobra

Todos los relés y contactores instalados en el tren estarán específicamente homologados para aplicaciones ferroviarias, cumpliendo con los requisitos definidos en las normas EN 50155 para condiciones ambientales, EN 60077-2 para componentes electromecánicos, EN 50205 para relés de seguridad, y EN 45545-2 en lo relativo al comportamiento frente al fuego. Su diseño y montaje garantizará un funcionamiento fiable bajo las condiciones de operación propias del entorno ferroviario, incluyendo temperatura, humedad, vibraciones, impactos, polvo y atmósferas potencialmente contaminantes.

Todos los relés y contactores serán del tipo enchufable y modular, con zócalo fijo cableado al sistema del tren y relé desmontable conectado mediante enchufe rápido. Incorporará un sistema de enclavamiento o retención mecánica que impida su desconexión involuntaria por efectos de vibración o choque. La sustitución del relé no requerirá herramientas ni intervención sobre el cableado existente, favoreciendo el mantenimiento rápido y seguro.

Los equipos operarán correctamente dentro de un margen de variación de tensión de alimentación de +15 % / -30 % respecto a su valor nominal, conforme a lo establecido por la norma EN 50155 para funcionamiento continuo en sistemas ferroviarios. Se deberá asegurar adicionalmente que la temperatura de la carcasa y de los componentes accesibles no supere los

valores seguros de contacto y que no provoque deformaciones ni fallos funcionales debido a sobrecalentamiento prolongado.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario justificará la elección de cada tipo de relé o contactor, aportando datos certificados sobre su vida útil según su función, su carga de trabajo y numero de maniobras.

Durante la fase de proyecto, el Adjudicatario deberá realizar un estudio técnico específico de todas las funciones que requieran el uso de relés o contactores, considerando:

- La frecuencia estimada de maniobras de cada función durante la vida útil del tren.
- El tipo y nivel de carga eléctrica asociada (tensión, intensidad, naturaleza de la carga).
- Las condiciones reales de operación y entorno de FMB (temperatura, humedad, accesibilidad, mantenimiento).
- El impacto de la posible degradación del componente en la disponibilidad del tren.

A partir de este análisis, el Adjudicatario propondrá, para cada aplicación concreta, el tipo de relé más adecuado (encapsulado o estándar ferroviario), justificando técnica y documentalmente su idoneidad en cuanto a:

- Vida útil eléctrica y mecánica, conforme a las condiciones de operación.
- Capacidad de conmutación bajo las cargas previstas.
- Resistencia ambiental y necesidades de mantenimiento.

La justificación se basará en documentación del fabricante (fichas técnicas, curvas de conmutación, ciclos de vida, etc.) y el estudio realizado por el Adjudicatario de la función, cargas y maniobras del relé y deberá demostrar que el componente cumple, como mínimo, con:

- $\geq 1$  millón de maniobras mecánicas sin carga,
- $\geq 100.000$  maniobras eléctricas bajo carga asignada,

Y que está certificado según las normas EN 60077-2, IEC 61810-1 y EN 50155 (cuando aplique).

El estudio será presentado a FMB para su evaluación y validación durante la fase de proyecto, debiendo estar alineado con criterios de fiabilidad, mantenibilidad y seguridad en la explotación.

Los relés y contactores deberán incorporar sistemas de protección contra las sobretensiones generadas por la desconexión de la bobina, tales como diodos de rueda libre u otros dispositivos equivalentes. Esta protección deberá impedir la propagación de picos de tensión a otros equipos sensibles, contribuyendo al cumplimiento de los requisitos de compatibilidad electromagnética según la norma EN 50121-3-2.

Todos los modelos deberán contar con una protección adecuada frente a condiciones ambientales exigentes, como polvo, humedad, niebla salina o agentes químicos. El grado de protección mínimo será IP20 para aplicaciones en el interior de armarios, y IP54 o superior para componentes instalados en zonas expuestas o semiabiertas. Los materiales deberán ser resistentes a la radiación ultravioleta, a la corrosión y al fuego, cumpliendo al menos los requisitos de la EN 45545-2, nivel HL2.

La solución adoptada deberá estar orientada tanto a la fiabilidad operativa como a la estandarización de componentes, favoreciendo la reducción de variantes y la facilidad de aprovisionamiento y mantenimiento durante el ciclo de vida útil del tren.

#### 2.2.2.6 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.

#### 2.2.3 Faros y pilotos externos

A cada lado de la parte inferior del testero de cabina, se situará un doble faro para iluminación del túnel (luz blanca), con lámparas, cortas y largas, de larga duración. 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 se colocarán dos 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 de 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 para encender y apagar los faros de iluminación de túnel (cortas y largas). Ninguna combinación sobre la actuación de los pulsadores podrá generar ningún tipo de avería. Estos pulsadores se situarán en el puesto de conducción de forma que estén diferenciados y distanciados del resto. Cuando alguno de estos pulsadores esté activado se iluminarán.

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 e indicadores se someterán a la aprobación de FMB durante el desarrollo del proyecto.

Dichos 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 luminosos con las siguientes características:

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

Los pilotos serán los siguientes:

a) Piloto 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 rojo – Alerta de cierre de puertas

Durante la habilitación o apertura de puertas: apagado.

Durante el aviso acústico de cierre: se enciende en rojo 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 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 los siguientes indicadores:

a) Piloto 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.

b) Piloto rojo – Estado de batería

Indicador visible tanto desde el exterior como desde el interior del tren.

Señalará visualmente un estado anómalo de descarga de la batería, según el umbral definido en fase de proyecto.

Permitirá detectar el estado de carga sin necesidad de energizar el tren.

En fase de proyecto se evaluará la posibilidad de sustituir este piloto por una indicación del estado de batería en la pantalla IP frontal del tren.

## 2.2.4 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 del mismo 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.

Existirán principalmente dos lazos de seguridad, aunque el Adjudicatario podrá proponer variaciones sobre estos que deberán de 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.

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.

### 2.2.4.1 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.

#### 2.2.4.2 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) 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.
- d) 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.
- e) El equipo ATP demande freno de emergencia.
- f) El sistema de conducción automática sin personal de conducción haga petición de freno de emergencia.
- g) Se active el sistema de detección de descarrilamiento.
- h) Se active la seta de emergencia.
- i) Se active hombre muerto.
- j) Se solicite frenado de emergencia mediante el manipulador de tracción/freno (posición F7).

- k) El selector de marcha se encuentre en posición neutra.
- l) Ninguna cabina del tren se encuentre activa.
- m) 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).
- n) En caso de apertura del lazo de puertas 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).

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

#### 2.2.4.3 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 de 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 señalizará 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 de 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.

#### 2.2.4.4 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.

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

#### 2.2.4.5 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.

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

- a) Se iluminarán los dos indicadores luminosos de color ámbar situados en ambos laterales del coche donde se ha accionado.
- b) Se iluminará un indicador luminoso en el puesto de conducción donde también deberá sonar una alarma acústica la cual se silenciará al reponer todos los aparatos de alarma accionados o mediante un reconocimiento de dicha alarma acústica. Además, se deberá recibir la información que identifique el tirador accionado.
- c) A través del sistema de Interfonía del tren se establecerá una comunicación full-dúplex entre el personal de conducción y el pasajero. Si el tren ya ha recorrido los 45 metros desde la salida de la última estación, se inhibirá la aplicación del freno de emergencia hasta que el tren se encuentre parado, momento en el cual será preciso reponer el aparato de alarma para desfrenarlo. La inhibición la efectuará el equipo de caja negra, no obstante, si el Adjudicatario considera que existe otro sistema más apropiado para tal función deberá justificarlo en fase de proyecto. Por tanto, el Adjudicatario deberá considerar que el equipo de caja negra deberá de tener el nivel de seguridad adecuado a esa función.

- d) 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.
- e) Desde la cabina de conducción se podrá ordenar la reposición del tirador.
- f) 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 los mismos se indicará la funcionalidad de cada uno de ellos.

#### 2.2.4.6 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, captándola de los ejes que a criterio del Adjudicatario proporcionen la medida más fiable para evitar los efectos de error en patinaje y deslizamiento. Estas señales se filtrarán adecuadamente para eliminar la posible llegada de falsa información debida a ruidos eléctricos.

Los captadores de velocidad deberán reconocer el sentido de giro de los ejes, debiendo medir velocidades desde 0 km/h (detección absoluta de velocidad cero) hasta una velocidad superior a la velocidad de aplicación de freno de emergencia por sobre velocidad del tren. Se deberán aportar datos del sistema de captación de velocidad, de la resolución y linealidad del sistema de captación de velocidad, siendo sometido a la 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 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 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.

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.

Los datos de fecha y hora de los Equipos de Registro sincronizarán a todos los equipos del tren que utilicen reloj en tiempo real, a través de la monitorización, ya que el reloj de este equipo será utilizado como patrón. Ambos equipos de registro estarán sincronizados. El equipo de registro del coche MA1 actuará como patrón del reloj de tiempo real y en caso de avería del mismo, lo será el equipo del coche MA2. Los cambios introducidos en el reloj de tiempo real quedarán registrados en el mismo con los datos de antes y después de la modificación, para garantizar la trazabilidad.

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.

El equipo Caja Negra dispondrá de un conector USB o ETHERNET para la extracción de los datos.

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.

El registrador deberá cumplir con los requerimientos de la norma EN62625.

La extracción de los datos de la caja negra se podrá realizar también desde la cabina de conducción.

#### 2.2.4.7 Detección de incendios

El sistema de detección de incendios deberá cumplir con lo establecido en las siguientes normas:

- UNE-EN 50553:2012, relativa a los requisitos para la capacidad de rodadura en caso de fuego a bordo del material rodante.
- EN 45545-1, EN 45545-2 y EN 45545-5, que regulan respectivamente los requisitos generales, el comportamiento frente al fuego de los materiales, y el diseño del sistema de protección contra incendios.

Cada 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 y detectores de fuego en los cofres de equipos situados bajo bastidor. El sistema contará con dos centrales por tren que operarán de forma redundante, garantizando su disponibilidad en caso de fallo.

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.

El número y ubicación de los sensores deberá definirse en base a un estudio de cobertura elaborado por el Adjudicatario y presentado durante la fase de proyecto, justificando su eficacia de detección conforme a la norma EN 45545-5. 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 Adjudicatario instalará el número de sensores necesario para garantizar esta funcionalidad.

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.

## 2.2.5 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.

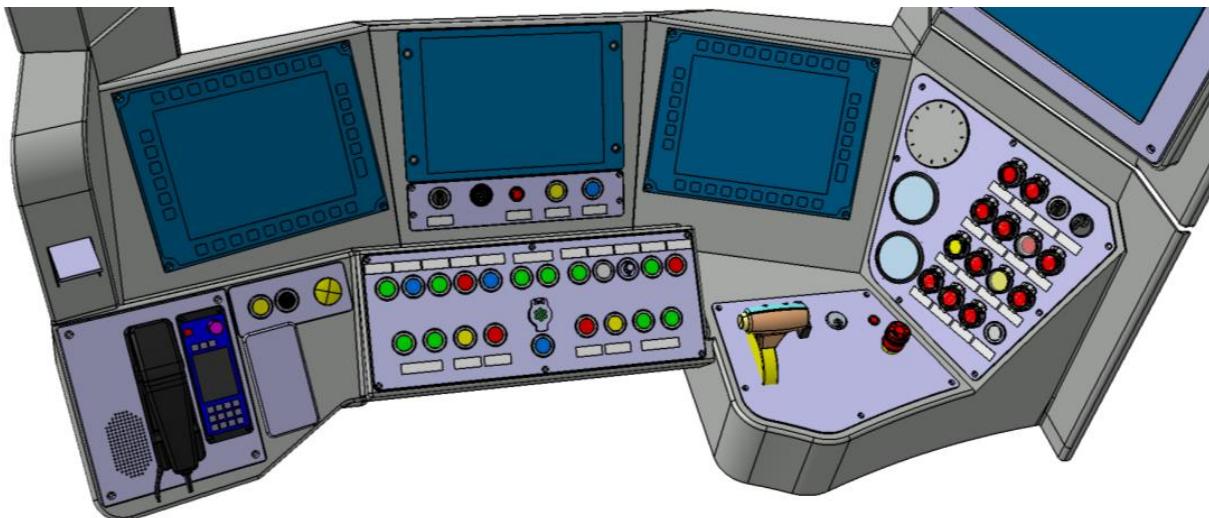
El diseño deberá cumplir además con las recomendaciones técnicas de la ficha UIC 610-0.17 (o su versión actualizada), y con los principios aplicables de la norma EN 50122-1, en lo relativo a la seguridad eléctrica del circuito de retorno desde el punto de vista del vehículo.

## 2.3 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 propuesta pupitre

En cada puesto de conducción se instalará 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 instalará 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 la misma.

En el pupitre del puesto 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. 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.

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.

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.

La pantalla de conducción será táctil y dispondrá además de botones perimetrales que sean redundantes a los críticos que haya en pantalla. La pantalla de IHM 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 (HMI). Esta propuesta incluirá:
  - Muestras funcionales naveгables.
  - 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 que ello suponga una modificación contractual.

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, y deberá disponer además de botones perimetrales que sean redundantes a los críticos que haya en pantalla.

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.

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.

El puesto de conducción incorporará doble pantalla que facilitará el control de la seguridad del pasaje por el personal de conducción. Estas pantallas estarán compartidas por dos equipos de seguridad distintos:

a) Equipo de control del 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) 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 comutará 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, y se maximizará el ángulo de visibilidad, cumpliendo en todo momento lo indicado en la norma UIC 651.

La cabina de conducción incorporará los siguientes elementos: limpiaparabrisas, antivaho y parasol (con accionamiento eléctrico).

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.

#### 2.3.1 Acceso al puesto de conducción

Para el acceso al puesto de conducción, se debe de 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 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 0,625m 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 hermetizan completamente la cabina.

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 substancias que puedan encontrarse en la zona de pasaje (polvo, disparo de extintores, etc.).

El acceso al tren, desde la vía, se realizará mediante escalera fija 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 (Escaleras 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.
- 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 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 50mm.

Se debe de 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.

Se debe de disponer de señalización de salida de emergencia sobre las puertas de acceso directo a cabina desde el exterior.

La puerta de acceso al puesto de conducción (interior de caja pasaje y/o en el 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.

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, con o sin batería, 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 bloqueables de forma tal que no suponga realizar movimientos por encima del hombro.

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

La puerta de acceso a cabina desde sala pasaje deberá de 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 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.

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.
- Si en la salida de escape existe una puerta, debe abrirse hacia fuera de la cabina de conducción.
- Esta puerta debe ser fija (no abrirse sola) pero el mecanismo de apertura ha de ser fácil y rápida de usar.
- Si existe la posibilidad de obstrucción de la puerta (equipaje, pasajeros) la puerta debe poder abrirse en ambas direcciones (hacia dentro o hacia fuera de la cabina) o ser deslizante.
- 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.
- Las puertas laterales (para acceder desde el exterior) que estén disponibles directamente en la cabina del personal de conducción únicamente se ha de abrir hacia el interior de la cabina.
- 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 2.000 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.

### 2.3.2 Sistema de control de accesos a cabina (CAT)

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 las mismas (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 separa 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. Si durante el desarrollo del proyecto FMB hiciera un cambio o actualización de la tecnología el Adjudicatario adaptará el sistema a dicha tecnología sin coste alguno para FMB. 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 de 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 mal funcionamientos 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.

Las dos puertas laterales de cabina deben ir equipadas con un mecanismo de desbloqueo con cerradura securizada. El sistema y ubicación de la cerradura se definirá en fase de proyecto.

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	NO APLICA
PUERTA TABIQUE CABINA A SALA PASAJE	ACCESO PASANDO LA TARJETA Y POSTERIORMENTE ABRIENDO CON LA LLAVE CON LLAVE SECURIZADA	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 la puerta 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 de tener el sistema para su compatibilidad con los actualmente existentes en FMB:

- **Lectores RFID:** Los trenes estarán equipados con lectores RFID sin contacto estratégicamente ubicados en las 2 puertas del tabique que separa la cabina de la sala de pasajeros.
- **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 de servicio 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.

### 2.3.3 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 marcha - freno de tipo rotativo.
- 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). Esfuercímetro.
- Manómetro de tubería principal y cilindros de freno.
- Pulsadores de selección, autorización de apertura, cierre de puertas y Bip-Bip de aviso 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. El de desconexión de batería llevará una tapa de protección.
- Pulsador subir y bajar pantógrafo.
- El Adjudicatario, en fase 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.

- Elementos susceptibles de ser necesarios para la conducción automática y manual.
- Pulsador apertura general de puertas.

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

La colocación de los dedos en los pulsadores de selección y apertura de puertas será los 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 11.8N). El Adjudicatario deberá presentar un informe justificativo del cumplimiento de dicho requerimiento en fase de proyecto. Se deberá de 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 funcionamiento del manipulador de tracción/freno será del tipo rotativo, aunque el Adjudicatario podrá proponer alternativas debidamente justificadas. 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 ( $\approx$  32 N).
- Aplicación de tracción del tren: máximo 1,2 kg ( $\approx$  12 N).

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

Se dispondrá de un apoyamuñecas ergonómico para la utilización del manipulador de tracción/freno.

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 cográ 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. Será necesaria la validación y aceptación de la maqueta por parte de FMB para poder iniciar la fase de su fabricación.

#### 2.3.4 Asiento del personal de conducción

El asiento del personal de conducción deberá cumplir con los 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 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...
- Respaldo ajustable por el usuario.
- Rotación horizontal del asiento (como mínimo +90º -90º) con enclavamiento en la posición de conducción.
- Cumplimiento con la norma EN45545 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 de 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 5º y 15º.
- La longitud del asiento estará comprendida entre los 380 y 430 mm.
- La inclinación del asiento recomendada será de 5º.
- 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 a los maquinistas 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, apoyabrazos abatible 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.

#### 2.3.5 Iluminación 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.

Asimismo, el sistema de iluminación general de la cabina deberá ser independiente del sistema de iluminación del pupitre, permitiendo al conductor regularlos por separado. 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.

Ambos sistemas deberán cumplir con los niveles de luminancia, distribución y confort visual definidos por la norma UNE-EN 12464-1:2022 relativa a la iluminación de lugares de trabajo.

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

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.

#### 2.3.6 Ergonomía del puesto de conducción

El diseño del puesto de conducción, tanto para su forma como para la distribución de aparatos, pantallas y palancas de mando, se realizará con criterios ergonómicos, tomando como norma de referencia la U.I.C 651.

El diseño del puesto de conducción y sus componentes tendrá en cuenta las medidas antropométricas de la plantilla de FMB (altura entre 155cm y 200cm).

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 de 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 (Entre 1,55 y 2 m de altura).

En caso de conducción automática, se dispondrán de los anclajes de fijación y las guías correspondientes para poder colocar un asiento en caso de ser necesaria una conducción manual. Dichos anclajes deberán de ser inaccesibles e imperceptibles para el pasaje.

Las dimensiones de la cabina serán conforme a la ficha U.I.C 651.

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 donde 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 m<sup>3</sup>. Deberá haber un volumen mínimo de renovación de aire de 30 m<sup>3</sup>/h por persona y que sea regulable en función de la ocupación de la cabina hasta un máximo de 60 m<sup>3</sup>/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 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 15º y 25º.

- 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 2000 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 1800mm.

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).

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”.

El puesto de conducción no debe de 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 <sup>2</sup>	Valor límite de exposición para 8h 1,15m/s <sup>2</sup>
Valor de exposición que da lugar a una acción para 8h 1,5m/s <sup>2</sup>	Valor de exposición que da lugar a una acción para 8h 0,25m/s <sup>2</sup>

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 de ser validados por FMB.

#### 2.3.7 Armarios de dotación

En la cabina se debe disponer de colgadores para la ropa, así como armarios libres para depositar artículos personales (mochila o bolsa). Estos percheros se ubicarán en el tabique de cabina.

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 cuadrado.

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.
- Dos tomas de tensión de 230 V.
- Taburete para acceso a trampillas.

Utilaje freno de estacionamiento.

El listado definitivo de elementos y su disposición 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 de ser validados por FMB en fase de proyecto.

#### 2.3.8 Puerta frontal de evacuación

Se instalará una puerta de evacuación frontal de un ancho mínimo de paso 480 mm. Tanto el pupitre y el asiento del personal de conducción se diseñará para que permita la evacuación.

La puerta de evacuación frontal estará formada por una puerta batiente de una sola hoja, la cual realizará una apertura hacia el exterior, sin salir del galibio 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 anden en las estaciones donde haya doble andén.

El paso de las puertas frontal de evacuación de cabina de conducción al exterior será de la mayor anchura posible, y estará en el lado izquierdo de cabina.

La apertura de la puerta será sencilla. 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 y la huella y contrahuella deberá de cumplir con la legislación vigente. La puerta en posición abierta debe mantenerse inmovilizada mediante algún sistema de freno o retención. El tiempo de plegado deberá ser inferior a 3 minutos.

El dispositivo de accionamiento estará cubierto por una tapa precintada y extraíble.

El mecanismo será de accionamiento electro-mecánico con diagnosis 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.

## 2.4 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.

### 2.4.1 Grupo moto-compresor

Se montarán dos grupos moto-compresores por tren, para producir el aire comprimido necesario.

Los grupos moto-compresor 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/cm<sup>2</sup>, regulable.

Podrá funcionar en régimen continuo durante 24h, sin detrimento de sus características, con una contrapresión de 11 kg/cm<sup>2</sup>. 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 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 que esto se encuentren ubicados en los coches con cabina, funcionará el compresor opuesto a la cabina de conducción activa.

#### 2.4.2 Acondicionamiento del aire

A la salida del grupo moto-compresor 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 compresor 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<sup>3</sup>,
- Clase 2 para contenido de agua: punto de rocío ≤ -40 °C,

- Clase 0 para contenido de aceite: definido por el fabricante, pero en ningún caso superior a 0,01 mg/m<sup>3</sup>.

El cumplimiento de esta calidad deberá certificarse mediante ensayo en banco y garantizado durante la vida útil del sistema de secado y filtrado.

#### 2.4.3 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 estado de carga máxima (AW3), con parada completa de la unidad en el caso de no funcionar ninguno compresor.

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.

Dispondrán de un regulador de presión de forma que ésta se mantenga entre 8,5 y 10 Kg/cm<sup>2</sup>, 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.

Las revisiones que según normativa deba de hacerse a los depósitos se deberán de poder hacer sin necesidad de desmontarlos del tren.

#### 2.4.4 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 los mismos.

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.

#### 2.4.5 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.

#### 2.4.6 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.

#### 2.4.7 Circuitos auxiliares

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).

La intensidad y frecuencia de los avisadores acústicos cumplirán con la norma EN 15153-4. No obstante el sistema deberá ser validado con FMB en condiciones reales de operación, especialmente en estaciones subterráneas y andenes cerrados. 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.

Por último, el asiento del personal de conducción dispondrá de suspensión neumática, y se conectará directamente a la TDP (tubería de presión), sin necesidad de panel específico de regulación.

## 2.5 PUERTAS (E)

### 2.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Las puertas de acceso a pasaje deberán ser diseñadas conforme a la norma UNE-EN 14752, utilizando la versión más actualizada disponible en la fase de diseño del proyecto.

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 en relación al resto del vehículo. En fase de diseño 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 diseño 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 0,90 m y 1,20 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 homologar a FMB para que este pueda reparar de forma autónoma las tarjetas electrónicas de control. Dispondrán de funciones implementadas de autotest, tanto de su estado de funcionamiento, como del estado operativo general de la puerta (en servicio o fuera de servicio). Las tarjetas electrónicas de control de las puertas deberán cumplir con el nivel de integridad de seguridad SIL2 como mínimo en lo que respecta a las funciones de detección de obstáculos y apertura del lazo de tracción / lazo de freno de emergencia por activación del sistema antidrag.

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 (conexión USB o Ethernet) 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 y 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. Los estribos deberán cumplir los requerimientos de accesibilidad descritos en el apartado correspondiente de este pliego, evitando escalones. 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 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  $\geq 8 \text{ MPa}$ , elongación  $\geq 350\%$ ).

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 de 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.

## 2.5.2 REQUISITOS FUNCIONALES

FMB podrá, sin coste alguno para FMB, requerir cualquier nueva funcionalidad que no implique cambios sustanciales en la arquitectura de la puerta durante la fase de proyecto.

### 2.5.2.1 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.

Cualquier accionamiento de un dispositivo que intervenga en la apertura-cierre de puertas, será registrado por el registrador de eventos del tren.

#### 2.5.2.2 Detección de obstáculos por sensibilidad del motor

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 la curva 1 del apartado 5.2.1.4.2.2 de la 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.

#### 2.5.2.3 Detección de obstáculos por borde sensible [antidrag]

Las puertas incorporan la función de seguridad “antidrag” según norma EN 14752, utilizando la versión más actualizada disponible en la fase de diseño del proyecto. El tipo de antidrag será simétrico.

El sistema antidrag deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- El sistema antidrag solo se activará a puerta cerrada y enclavada.
- 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 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.

El sistema de seguridad antidrag y su funcionalidad deberá de ser validada por FMB en fase de proyecto.

#### 2.5.2.4 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 de 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.

- 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.

#### 2.5.2.5 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 sargas 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.

##### 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 vigente durante la fase inicial de diseño del proyecto.
- 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 rearmando 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 rearne 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 se deberá informar al puesto de conducción identificando la puerta.

#### 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.

#### 2.5.2.6 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 de 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.

#### 2.5.2.7 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 Bip-Bip 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.

El tren dispondrá de un Indicador luminoso pulsador interior y exterior:

#### 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.

#### 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,

#### 2.5.2.8 Sonería de mandos y puertas

- **Habilitación/Permiso de puertas.** Con la orden de habilitación/permiso de puertas (por parte del personal de conducción), el 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.
- **Sonería de cierre de puertas.** El nivel sonoro debe ser regulable y se debe poder ajustar por medios propios. El aviso acústico se emitirá 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 “Bip-Bip”. 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 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 “Bip-Bip”, 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 vigente durante la fase inicial del proyecto.

La duración y el nivel de presión sonoro de todas las alertas serán ajustables por personal de FMB.

## 2.6 EQUIPO DE FRENO NEUMÁTICO (F)

Tanto el mando como el equipo de freno seguirá el criterio fail-safe.

El Adjudicatario caracterizará los supuestos para todos los estados de carga (de AW0 a AW4) en operación, de acuerdo con EN 13452.

Estará preparado 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 presión de los cilindros de freno variará automáticamente con la carga del vehículo.

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.

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 de 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 bogie, 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.

### 2.6.1 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.

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 del mismo, 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 +/- 0,10m/s<sup>2</sup>. 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 ausencia total del freno eléctrico, el sistema de freno neumático deberá estar dimensionado para asumir las funciones de frenado dinámico del tren en condiciones de carga máxima, sin restricciones operativas de velocidad por esta causa.

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 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 de freno neumático deberá ordenar la apertura del lazo de emergencia, cuando detecte que existe una situación que pueda afectar a la seguridad del vehículo.

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 de 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 tracción, 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.

#### 2.6.2 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 0 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:
  - Algoritmos y 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 sellado horario 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.

El diseño, implementación y validación del sistema antibloqueo deberá cumplir con lo establecido en la siguiente normativa:

- EN 15595 – Railway applications – Braking – Wheel slide protection systems.
- EN 50126 (RAMS),
- EN 50129 (seguridad funcional de sistemas electrónicos)...

#### 2.6.3 Freno de estacionamiento

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. El tren dispondrá de un utilaje 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.

#### 2.6.4 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 evitara 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.

## 2.7 EQUIPO DE TRACCIÓN (G)

### 2.7.1 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 en un equipo de tracción, se deberá garantizar una tracción mínima de al menos 90% de empuje de tracción, con los otros equipos de tracción. En este caso, se efectuará un incremento de demanda en el resto de coches operativos para compensar el par perdido, y seguir cumpliéndose con los requisitos especificados en este pliego, sin comprometer la integridad de los equipos de tracción disponibles.

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 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 de servicio del tren será de 80 km/h. Cuando el tren alcance dicha velocidad, se cortará de forma automática la tracción. Esta velocidad podrá ser configurable por FMB, en el margen de 70 km/h a 90 km/h, con una precisión, como mínimo, de 1 km/h.

Si el tren alcanza los 90 km/h se aplicará automáticamente freno de emergencia hasta que la velocidad se reduzca a 5 km/h. Cuando se alcance esta velocidad se retirará automáticamente el freno de emergencia 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, urgencia 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.

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.

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 un doble sistema de seguridad relacionado con el proceso de su manipulación durante el montaje y desmontaje, como por ejemplo un tirante o sirga entre otras opciones. Dicho sistema de seguridad deberá ser validado por FMB en fase de proyecto.

#### 2.7.2 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.

Las tarjetas en el rack deberán estar codificadas, de forma que no puedan ser insertadas en una posición incorrecta. Todas las tarjetas deberán ir identificadas con número de serie y con su nombre en la propia tarjeta y en su posición en el bastidor.

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 subtensión de la tensión de catenaria.
- Sobrecorriente de línea.
- Sobretensión y subtensión 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 autodiagnosis 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 (MVB o el que 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 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 de 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.

El sistema de tracción y freno del tren 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 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.

### 2.7.3 Antipatinaje y antibloqueo coches motores

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 eje, de forma autónoma y segura, garantizando una utilización óptima de la adherencia disponible en todo momento.

El sistema deberá:

- Detectar y corregir el patinaje de uno o varios ejes durante la fase de tracción.
- Ajustar el esfuerzo motriz en tiempo real para evitar pérdida de adherencia o aparición de planos en ruedas.
- Actuar por eje individual, mediante captadores de velocidad dedicados.
- 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/s<sup>3</sup>, 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 frenado en función del nivel de adherencia rueda-carril. La lógica de WSP deberá:

- Actuar por eje,
- Detectar condiciones de bloqueo o deslizamiento,
- Corregirlas mediante reducción selectiva del par de frenado.

Cada eje contará con captadores de velocidad capaces de:

- Detectar sentido de giro,
- Medir desde 0 km/h hasta 90 km/h,
- Garantizar una resolución y linealidad adecuadas, justificadas por documentación técnica.

El sistema incluirá un autotest software para las funciones de antipatinaje y antibloqueo eléctrico, con capacidad de:

- Diagnóstico de captadores, controladores, lógica y cableado,
- Identificación de fallos con indicación del coche y eje afectados,
- 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.

El sistema deberá cumplir con los siguientes estándares:

- EN 15595 (protección contra bloqueo y deslizamiento de ruedas),
- EN 50155 (condiciones ambientales para equipos electrónicos ferroviarios),
- EN 50126-1 y EN 50129 (seguridad funcional y fiabilidad de sistemas ferroviarios).

#### 2.7.4 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 -15º a + 50º.
- 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 elegidos, que serán ampliamente dimensionados. Se proporcionarán, al menos, tres 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 se someterán a los ensayos tipo y serie previstos en las normas CEI nº 349-2. (Rules for rotating electrical machines for rail and road vehicles). Serán normas de aplicación las NFF16101, NFF16102, U.I.C 619 y CEI 85.

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.

#### 2.7.5 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 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.

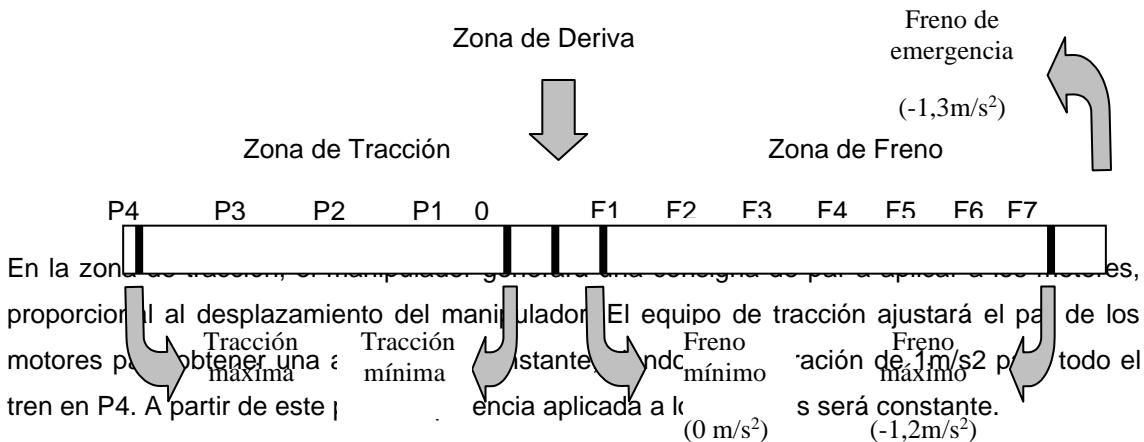
La zona de tracción estará comprendida entre las posiciones marcadas como P1 y P4, existiendo 2 posiciones intermedias marcadas como P2 y P3.

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.



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<sup>2</sup> para F1 y  $-1,2 \pm 0,05$  m/s<sup>2</sup> 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/s<sup>2</sup>.

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 de ser aprobado por FMB.

## 2.8 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.

En 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, superelevaciones, 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 o geoposicionamiento.
- 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 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 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 períodos 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 inicial 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.

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 de ser validados por FMB. Todo el cableado, así como la sensórica utilizada para dichas mediciones, deberá de dejarse instalada en los bogies para su utilización en el futuro por parte de FMB.

Con la caja del tren elevada los bogies deberán de 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 carga máxima, 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.

#### 2.8.1 Bastidor

El bastidor deberá asegurar la capacidad resistente a todo tipo de solicitudes 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.

#### 2.8.2 Ejes

El Adjudicatario se atendrá 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 las normas EN 13103 y EN 13104 o, en su defecto, otras que el Adjudicatario estime oportunas, que deberán ser aprobadas por FMB.

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 de 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.

#### 2.8.3 Ruedas

Las ruedas serán enterizas y estarán construidas en acero no aleado y de bajo contenido en carbono.

Las ruedas del tren deberán monobloque y estarán fabricadas en acero conforme a la norma UNE-EN 13262 con calidad R7. Para L1 las ruedas serán de categoría 1. Las ruedas deberán ser las adecuadas para las condiciones de carga y velocidad propias del entorno de FMB.

Asimismo, deberán haber sido diseñadas, dimensionadas y homologadas conforme a los requisitos establecidos en la norma UNE-EN 13979-1, relativa a la validación del diseño estructural de ruedas de acero monobloque para ferrocarril.

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.

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 modificación propuesta deberá ser evaluada y aprobada previamente por FMB.

El Adjudicatario deberá aportar en fase de proyecto a FMB tres proveedores de ruedas homologados y deberá de dar a FMB el plano constructivo para la fabricación de dichas ruedas.

El diámetro del círculo de rodadura de una rueda nueva será de 840 mm, estableciéndose la capacidad máxima de desgaste en consonancia con el gálibo inferior del bogie, pudiendo ser hasta de 100 mm, medidos según el diámetro. Se debe asegurar que el tratamiento térmico al que deben ser sometidas las ruedas cubre el desgaste máximo previsto. El límite de salida de torno para servicio comercial será de 740 mm. 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.

#### 2.8.4 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.

Todos los ejes deben de tener el mismo tipo de rodamiento estándar, siendo estos dimensionados para el más solicitado, según la distribución de esfuerzos.

El Adjudicatario, tres (3) meses antes de la puesta en servicio, deberá validar mediante ensayo conforme a normativa (EN 12081 y EN 12082) al menos dos tipos de lubricantes que puedan ser adquiridas en la Unión Europea. Dichos lubricantes deberán cumplir con la norma UNE-EN 14865.” Aplicaciones ferroviarias. Grasas lubricantes para cajas de grasa”.

El Adjudicatario, tres (3) meses antes de la puesta en servicio, deberá homologar al menos dos fabricantes de rodamientos.

## 2.8.5 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.

### 2.8.5.1 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 ≤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.

#### 2.8.5.2 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.

#### 2.8.6 Traviesa bailadora

El apoyo de la caja sobre el bogie se realizará por medio de la traviesa 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 traviesa 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.

#### 2.8.7 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 a 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.

#### 2.8.8 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 esté orientado transversalmente respecto al eje de salida del reductor (disposición transversal). No se admitirán configuraciones en las que el eje del motor y el eje 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 une el reductor con el bastidor del bogie.

Las reductoras serán perfectamente estancas en su totalidad, no debiéndose añadir aceite hasta el cambio de lubrificadorante.

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 Motor-reductor, 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.

#### 2.8.9 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.

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.

##### 2.8.9.1 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.

#### 2.8.9.2 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 freno de estacionamiento por eje, que deberá ir incorporado al propio cilindro normal de servicio, mediante un resorte que actúe cuando disminuya la presión de aire.

El freno de estacionamiento 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.

Los cilindros de freno de estacionamiento llevarán instalados un cable de conexión para el desbloqueo manual de freno, así como un sistema para detección de freno de estacionamiento aplicado.

En cada bogie se incorporarán sirgas accesibles desde la vía por ambos lados del tren, y desde el interior del vehículo, para desbloquear el freno de estacionamiento. 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.

#### 2.8.9.3 Disco de freno

Los discos estarán dimensionados de forma que puedan soportar sin deterioro ni deformaciones o grietas, tres procesos de frenado consecutivos del tren con carga excepcional (8 p/m<sup>2</sup>) y desde la máxima velocidad.

La capacidad de disipación de energía de los discos será tal que, en el caso de avería del freno eléctrico, el sistema de freno neumático podrá trabajar indefinidamente, sin limitación en el servicio (en carga máxima, sin aplicar limitaciones de velocidad e incluyendo la realización de un frenado de emergencia en el punto más desfavorable de la línea). Las temperaturas alcanzadas en dichas condiciones en discos y guarniciones no deberán provocar daños sobre estos elementos, ni producir pérdida de prestaciones de frenado.

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.

#### 2.8.9.4 Guarniciones y Zapatas de freno

Las zapatas serán sintéticas y no se aceptarán elementos contaminantes en su composición (amianto, plomo, zinc, etc.).

El Adjudicatario, 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.

#### 2.8.10 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.

La zapata se autoajustará automáticamente en todo su recorrido en función de su desgaste y reperfilado de rueda.

#### 2.8.11 Sistema de detección de descarrilamiento

El tren estará diseñado para un nivel de automatización GoA4, por lo que se deberá prever, desde la fase de diseño, 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 descarrilamiento 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 descarrilamiento, 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.

En la oferta económica a valorar sobre el sistema de detección de descarrilos no se incluirá la parte preinstalada del sistema en el tren descrita anteriormente en este apartado. En la oferta económica 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 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, conversores 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 descarrilamiento 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.

## 2.9 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, y eléctrico.

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.

#### 2.9.1 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.

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.

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, un único agente 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 guías para su auto centrado horizontal.

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.

Existirá una válvula de aislamiento accionable desde el interior de la cabina contigua, para la tubería única que atraviesa el enganche.

Para casos de emergencia y cuando por algún motivo muy especial 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.

Los acoplamientos cumplirán la norma U.I.C 522

Se suministrarán 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.

### 2.9.2 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: +/- \_\_\_\_\_ °

## 2.10 CAJA (J)

### 2.10.1 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 el estado de carga máxima (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 máxima.

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 de 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 actuales 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 con carga máxima (AW3), tres de las cajas (un MA, un MB y un R), se monitorizarán con galgas extensiométricas en los puntos de máxima solicitud 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.

La capacidad de carga requerida por punto de elevación de la caja debe de 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 de 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 ignífuga 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 de material se tomarán de las normas DVS 1608 para aleaciones de aluminio, DVS 1612 para acero, y FKM Guidelines 5th Ed. 2003 para aquellos materiales que no se encuentren en las primeras. Se justificará cualquier alternativa a estas preferencias.

El proyecto se planteará con los siguientes objetivos:

- Reducción de la tara de la caja, resultando un ahorro de energía.
- Nivel de solicitudes 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.

#### 2.10.2 Tratamiento superficial.

##### 2.10.2.1 Pintura

La pintura debe de ser en base a agua. Debe de ser resistente a los grafitis y fácil de limpiar.

La pintura exterior será de poliuretano de excelente calidad y de uso normal en los ferrocarriles. Se deberá tener en cuenta que los trenes se podrán lavar en túneles de lavado automático y con productos detergentes y disolventes de eliminación de grafiti.

La calidad y el número de capas de pintura será tal que garantice, como mínimo, su perfecta conservación durante un período de diez años, en las condiciones normales de servicio.

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 de respetar el diseño aprobado por FMB en fase de proyecto independientemente a la aplicación de vinilos.

Se deberán de 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 de ser validadas por FMB.

La pintura deberá de 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.

## 2.10.2.2 Vinilo

El interior y el exterior de los coches deberá estar protegido con vinilo o pintura anti grafiti 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 2mm al contorno de la junta de goma del marco de la ventana.
- Los extremos de los coches (tabique cabina) se deberán vinilar.
- Las láminas se pegarán ajustándose hasta 2mm 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 2 mm.
- Continuidad entre dos láminas menor a 2 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 de 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 90º). El radio mínimo será de 3 mm.

- No deberán de existir burbujas en los vinilos con un diámetro superior a 3 mm y deberán de 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 de no se deben usar elementos cortantes, si fuese necesario, se deberá especificar en qué zonas.

Se deberá cubrir sin solapas aquellas zonas en las que las dimensiones del material lo permitan. Se deberá vinilar en una sola pieza y sin solapas 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.
- 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.

En fase de proyecto el Adjudicatario debe de entregar la documentación que demuestre que las láminas de vinilo a montar en los trenes cumplen los puntos anteriores.

#### 2.10.2.3 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 desengrasar.

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, ...

#### 2.10.3 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.

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 de 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 eliminan 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 garanticen 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.
- Se establecerá una apertura mínima libre de 90° que asegure un espacio adecuado para la ejecución de tareas de mantenimiento, inspección o ajuste.

- 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 evitara 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.

#### 2.10.4 Techo

El techo debe de ser diseñado de tal forma que permita el paso a lo largo de toda la longitud del tren a través de un camino de ancho mínimo de 350 mm y que permita acceder a todos los equipos ubicados sobre este. El diseño debe de 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 de 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 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 recogidas 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 anticaídas, 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.

El Adjudicatario deberá efectuar la certificación inicial de los puntos de anclaje conforme a la norma aplicable. 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.

El Adjudicatario, efectuará la certificación inicial de los puntos de anclaje y elaborará el correspondiente Manual para mantener el cumplimiento de la norma, el tipo de mantenimiento, revisiones, periodicidad y procedimiento de uso. Dicho certificado deberá de entregarse a FMB un (1) mes antes a la entrega del de cada tren a FMB.

#### 2.10.5 Departamento de pasaje

La distribución interior de la sala de pasaje deberá de ser de tal forma que maximice el espacio. El Adjudicatario deberá de 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.

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.

En el interior de cada coche debe existir una franja libre ubicada en la parte superior próxima al techo, y legible desde cualquier parte del vagón, para la colocación de señalización estática, como termómetros, pictogramas, etc.

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.

Así mismo existirán 4 soportes por coche, con protección de metacrilato, donde ubicar los mapas de red de FMB. El tamaño y ubicación definitivos deberán de 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.

#### 2.10.5.1 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:

- a) Coloración másica, no superficial, que no requiera posteriores pintados.
- b) Conformación de características anatómicas y ergonómicas para que no fatiguen las vibraciones.
- c) Ausencia total de ángulos vivos (perímetro con formas redondeadas).
- d) La altura del asiento estará entre 45 cm y 48 cm.
- e) 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. Los grupos de asientos dispondrán de un reposabrazos de división entre ellos que facilite apoyarse para levantarse del asiento. El diseño de dicho reposabrazos se definirá en fase de proyecto y deberá ser aprobado por FMB.

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) La anchura mínima por plaza de asiento será de 500 mm.
- h) Disponer de apoyabrazos entre grupos de 4 asientos (reposabrazos cada 2 asientos).

#### 2.10.5.2 Asideros

- El sistema de anclaje y tipo de material utilizados deben evitar oscilaciones.
- La superficie de barras, asideros y montantes de sujeción y ayuda a la circulación interior será de un material no deslizante, siendo siempre el interior de los mismos de acero inoxidable, y de color amarillo (RAL 10123). En fase de proyecto el Adjudicatario deberá presentar una propuesta de materiales y tecnología a utilizar que deberá ser aprobada por FMB. El Adjudicatario deberá presentar tres (3) propuestas.
- 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 sin necesidad de desmontar montantes.

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.

Los asideros verticales individuales 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. En fase de proyecto el Adjudicatario presentará la solución adoptada que deberá ser aprobada por FMB

#### 2.10.5.3 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/m<sup>2</sup>.

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 diseño como en la de montaje

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 inoxidables 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 de estar sellada de manera adecuada.

Incluso en condiciones de humedad, el revestimiento del suelo deberá de tener buenas propiedades antideslizantes durante toda su vida útil.

El revestimiento del suelo deberá de tener logotipos incrustados (silla de ruedas / auxiliar de movilidad, silla de paseo, etc.) en la ubicación del área de multifuncional.

El Adjudicatario deberá de 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 1,0mm y densidad mínima de 700kg/m<sup>3</sup>, que absorba irregularidades y tensiones de piso.

De conformidad con la ETI de accesibilidad (Reglamento UE 1300/2014), 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 bebé, 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.

#### 2.10.5.4 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. Se permitirá la utilización de vinilos antigraffiti cuya calidad e implantación 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 antigraffiti 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 bridás 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.

#### 2.10.5.5 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 solicitudes 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 ± 5 mm.
- Ancho libre de paso ..... 1.350 mm + 25 mm/-50 mm.

El pasillo de intercomunicación, en su parte exterior de caja, deberá de ajustarse lo más posible al gálibo 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 antigrafiti.

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 de aportar referencias suficientes (2 o más) de experiencias demostradas en un servicio similar al necesario por FMB.

#### 2.10.5.6 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 de justificar la capacidad para resistir impactos, que no será inferior a la requerida en la norma EN 15152.

Deberán de estar previstas de láminas protección anti vandálica (antirayado y antiácido) por ambas caras. Dichas protecciones no deben reducir en ningún caso la transparencia del vidrio.

Todas las lunas del vehículo, incluyendo las puertas de acceso a sala y cabina, deberán cumplir con el "Reglamento nº 43 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) - Disposiciones uniformes relativas a la homologación de los materiales de acristalamiento de seguridad y su montaje en los vehículos" y normas NF F 31250 y NF F 31119.

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 de estar como mínimo a 1850 mm por encima del piso y la dimensión mínima vertical de la luna será  $\geq 750$  mm.

Se montarán dos versiones, 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 20% de la superficie total de la ventana, pero si se desea podrán enclavarse fácilmente, impidiendo su apertura mediante cerradura de cuadrado.

El montaje de las lunas se realizará asegurando una gran solidez y seguridad, mediante perfiles de goma con junta o cordón de expansión, que impidan asimismo la entrada de aire y de agua, y aíslen la luna de las vibraciones. La sustitución de ventanas y parabrisas se deberá poder realizar en el mínimo tiempo posible (< 1 hora). En ningún caso se permitirá la colocación de contramarcos interiores.

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 (4<sup>a</sup> 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.

Dado que parte del trazado discurre en el exterior, tanto la luna frontal como las lunas laterales del puesto de conducción estarán dotadas de cristales tintados, con características que

garanticen una adecuada protección solar y visibilidad, y asegurarán la estanqueidad al agua y al aire, incorporando canales de drenaje integrados.

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 gravillón 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.

#### 2.10.5.7 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 garantizará la disponibilidad de, al menos, dos proveedores capaces de suministrar luminarias compatibles con el sistema de iluminación instalado en el tren, que ofrezcan prestaciones y costes iguales o superiores a las de las luminarias originales, durante un periodo mínimo de 10 años.

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.

La iluminación interior del tren se podrá graduar de forma manual, pero también automática en función del volumen de pasaje, de la hora del día o de la iluminación exterior.

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 4000ºK y 6000 ºK 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.

Las luminarias deben estar diseñadas para evitar el deslumbramiento garantizando una calidad clase "A" y con curvas de iluminancia normal de 300 lux.

El índice de reproducción cromático deberá ser mayor o igual a 80 y siendo este color grupo 1B.

Estos requisitos se aplicarán igualmente a la cabina de conducción.

El alumbrado LED deberá cumplir con las normas IEC/PAS 62717: "Módulos LED para Iluminación general" y IEC/PAS 62722: "Luminarias Para LED Para iluminación general". Así mismo deberá de cumplir con las siguientes características:

- CRI deberá ser 80 o superior.
- L70.
- Vida útil: superior a 100.000 horas.

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 1 hora 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 reconnectar 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.

Cada módulo de iluminación remplazable debe ser ajustable el nivel de luminosidad en caso de ser sustituido, para evitar contrastes de iluminación con conjuntos dentro del mismo coche.

## 2.11 SISTEMA INFORMÁTICO EMBARCADO (K)

La definición e integración de los sistemas tecnológicos embarcados se basa en la siguiente arquitectura de referencia, que muestra los diferentes componentes y sus interrelaciones.

Dicha arquitectura se basa en dos redes diferenciadas para sistemas tecnológicos y para aquellos propios de los sistemas del tren, canales comunes de comunicación tren-tierra y un sistema de gestor de energía global.

Existirán dos redes diferenciadas con diferentes funciones y tipos de sistemas conectados en ellos: la red troncal TCN multiservicio (Train Control Network) y la red troncal Ethernet multipropósito (también llamada Red Embarcada de Metro o REM).

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 propósito de la red REM es proporcionar un medio de transmisión de banda ancha dentro del tren para interconectar los elementos distribuidos por el tren que constituyen un sistema, evitando cableados y buses propietarios, los sistemas tecnológicos con los sistemas de comunicación tren-tierra y los diferentes sistemas que requieran intercambiar información diferente a la que viaja por la red TCN. También, alberga algunos sistemas/servicios y otras funcionalidades

transversales como puede ser el sistema de videovigilancia (centralita local), el sistema de video difusión de las TFTs de información al pasaje (centralita local), DNS forwarding, sincronismo NTP, etc.

El sistema informático embarcado y todos los sistemas de comunicación propios del tren o del tren-tierra de cualquier red deberán estar específicamente protegidos frente a ciberataques y deberán cumplir con las normas de referencia que apliquen. Existen diferentes anexos en el presente pliego que se han de cumplir para el diseño de las redes, sistemas/soluciones y comunicaciones embarcadas (p.ej.: anexo de arquitectura e integración tren tierra, ciberseguridad OT, ciberseguridad IT, etc.). Será responsabilidad del Adjudicatario realizar una auditoría de ciberseguridad por una empresa externa certificada antes de poner en servicio el primer tren que verifique:

- El diseño, arquitectura e interconexiones generales de las redes embarcadas.
- De las soluciones (y cada uno de los equipos de estas) que aporte el Adjudicatario.
- Para los sistemas/soluciones mixtas en que FMB aporta una parte de la solución (sistema/producto) y el Adjudicatario otra, solo recaerá bajo la responsabilidad del Adjudicatario la auditoria sobre los elementos aportados por él (a nivel HW y/o Software).

También será responsabilidad del Adjudicatario implementar las correcciones y mejoras detectadas en las auditorias de ciberseguridad.

#### 2.11.1 Red troncal TCN

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 con localizaciones distantes en el tren, 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 (según especificación apartado correspondiente de este pliego), 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 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 comparten conectores, regletas, alimentaciones, mangueras, apantallamientos y otros elementos susceptibles de introducir fallos que neutralicen la redundancia del sistema.

Las interconexiones del bus informático con cada uno de los equipos no se realizarán mediante conectores aéreos, sino que estos serán de tipo fijo sustentados a chasis (tipo rack), esta pauta se extenderá también al resto de canales de comunicaciones, E/S, alimentaciones, etc. del sistema. La operación de retirar, intercambiar, etc. equipos conectados a la red informática no requerirá manipulación alguna de conectores, sino que bastará con interrumpir su alimentación mediante el elemento adecuado, retirar la tornillería de sujeción y extraer el equipo.

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 baja tensión 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 “Modo socorro 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 socorro del Sistema Informático” se realizará mediante el accionamiento del correspondiente pulsador, esto forzará la conexión y preparación de todos los equipos del tren para que este pueda circular, sólo en conducción manual, de forma segura incluso con pasaje si fuera necesario. Este proceso no debe necesitar prerequisito alguno diferente a tener mando de tren en el puesto de conducción desde el que se pretenda moverlo. El “Modo socorro del Sistema Informático” debe prevalecer sobre el mando del sistema informático, por consiguiente, la activación del Modo socorro desactivará aquellos equipos de la red informática que pueden afectar al funcionamiento en modo socorro sin necesidad de hacer un bypass adicional a ningún equipo electrónico del sistema informático. Coexistirán 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 pulsado de activación del Modo socorro del sistema informático dispondrá de señalización luminosa para indicar que dicha funcionalidad cuando se encuentre operativa. También se señalizará en la pantalla de conducción que el sistema informático del tren está en Modo socorro.

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.

En fase de proyecto el Adjudicatario documentará y justificará el cumplimiento de las especificaciones de este apartado. El sistema y su funcionamiento deberán de 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.

En referencia a las informaciones, datos y registros del sistema informático de los trenes:

- 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 personal de conducción.

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 perdida 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, customizado individualmente para cada tipo de incidencia/evento, 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.

Todas las interacciones hombre-máquina (IHM) 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 de alta velocidad tipo USB, Ethernet o similar.

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, el cual tomará como patrón el reloj de tiempo real de uno de los equipos caja negra (los 2 equipos caja negra deben estar sincronizados). En caso de avería de este equipo se tomará como patrón de reloj la otra caja negra, si ésta también fallase sería el reloj en tiempo real del SIE el utilizado como patrón.

La fecha y hora será suministrada por un servidor NTP a definir en fase de proyecto

Cualquier modificación en el reloj de tiempo real del equipo caja negra patrón deberá ser actualizada de forma instantánea en el resto de los equipos. 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.

Todas las tarjetas y equipos instalados en los trenes, incluidos aquellos de aportación FMB, publicarán en el sistema informático embarcado del tren su correspondiente número de serie y versión de software instalada, de manera tal que se pueda consultar directamente desde la pantalla de ayuda a la conducción y/o extraer la arborescencia de tarjetas, equipos, ... montados en el tren en cualquier momento mediante ordenador portátil o conexión remota.

Los módulos de entradas-salidas E/S (interfaces entre el sistema informático y los equipos del tren) dispondrán de como mínimo de un 20 % 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.

La monitorización de los térmicos del tren se realizará de manera individual para los térmicos que puedan afectar al servicio. En fase de proyecto el Adjudicatario presentará una propuesta de monitorización de térmicos y esta 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 SIE. Dichos protocolos deberán de entregarse y ser validados por FMB en fase de proyecto.

#### 2.11.2 Red Ethernet embarcada (REM)

El tren debe disponer de una red ethernet embarcada (también llamada REM). Uno de los propósitos principales de dicha red es proporcionar un medio de transmisión de banda ancha dentro del tren para:

- Interconectar los elementos distribuidos por el tren que constituyen un sistema, evitando cableados y buses propietarios. Para ello se definirán aquellos segmentos de red que sean necesarios en base a sus componentes y criticidad.
- Interconectar los sistemas tecnológicos con los sistemas de comunicación tren-tierra.
- Interconectar los diferentes sistemas que requieran intercambiar información diferente a la que viaja por la red TCN.

En el capítulo 'SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO (M)' del presente pliego se amplía la información relacionada con esta red ethernet embarcada.

## 2.11.3 Puesta en marcha y desconexión del tren

### 2.11.3.1 Introducción

La puesta en marcha y desconexión del tren puede 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.

### 2.11.3.2 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 un minuto, 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: 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 pulsadores de conexión y desconexión manual y automática deben encontrarse físicamente en posiciones contiguas. La disposición, simbología y entorno de estos pulsadores debe contribuir a su fácil localización y comprensión de uso.

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 rearranque 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 la batería haya permanecido a la descarga de forma continuada 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.

#### 2.11.3.3 Puesta en marcha y desconexión remota

Los procesos de puesta en marcha y de desconexión remota deberán poder realizarse sin presencia de agente en el tren mediante órdenes lanzadas desde el CCM. 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).

El Adjudicatario en fase de proyecto propondrá, describirá y justificará el sistema a emplear, que deberá ser consensuado con FMB.

## 2.12 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 de estar monitorizadas por el sistema informático del tren.

Los equipos de aire acondicionado de sala dispondrán de dampers de entrada de aire exterior. A partir de las informaciones recibidas del equipo de detección de incendios dichos dampers 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 sesenta (60) días garantizando las correctas prestaciones del equipo.

### 2.12.1 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 del volumen de pasaje que lo ocupa, 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 trampillas 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 dichos dampers 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.

## 2.12.2 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 climatización será independiente del coche de pasaje. Podrá regularse el flujo de aire y la calefacción a voluntad del personal de conducción dentro del rango de confortabilidad establecido en RD486/97. La temperatura de los locales del habitáculo de conducción, por ser un lugar donde se realizan trabajos sedentarios y 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).
- Para reforzar la calefacción 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) 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, pudiéndose regular tanto la zona del personal de conducción como la del asiento auxiliar

#### 2.12.3 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 registrar 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 auto chequeo y en caso de anomalía se 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 de ser validadas por FMB en fase de proyecto.

#### 2.12.4 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 60 minutos cuando falte alta tensión. El cálculo de las renovaciones de aire será sometido a la aprobación de FMB.

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:

<b>Tensión de catenaria</b>	<b>Llave Gobierno</b>	<b>Ventilación (emergencia y AA)</b>
SI	SI	Funciona el Aire acondicionado
NO	SI	Ventilación emergencia funciona un mínimo de 60 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 de definirse en fase de proyecto y deberá de ser validada por FMB.



## 2.13 SISTEMAS DE COMUNICACIONES E INFORMACIÓN AL VIAJERO (M)

Adicionalmente a los requerimientos definidos en el presente pliego, se ha de tener como requerimientos generales los indicados en los documentos anexos al mismo como son: ‘Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra.docx’, ‘Especificaciones Arquitectura Sistemas Centrales v2.7’, ‘Guía básica de integración con la CPU multipropósito’, etc.

### 2.13.1 Comunicaciones e integración tren tierra

El tren dispondrá de canales de comunicaciones tren-tierra a través de diferentes equipos embarcados que se listan a continuación:

- Radio DMR
- Sistema ATP
- CPUs multipropósito’ para los sistemas de video vigilancia (CCTV) y video difusión (SIU).
- ‘Communication Gateway’, que actuará como gateway de comunicaciones de la red ethernet embarcada con sistemas centrales a través de un APN privado para todos los sistemas embarcados que no se hayan nombrado en los puntos anteriores.
- Excepcionalmente pueden existir otros equipos que dispongan de sus propias comunicaciones siempre con direccionamiento privado.

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 ellos deberán cumplir con las premisas descritas en el anexo ‘Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra.docx’.

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, auscultador, CBM, posible extracción de datos de caja negra, etc. El listado final se determinará en fase de proyecto.

En el documento ‘Anexo Communication Gateway’ se describe con mayor detalle las características y alcance que debe cumplir el equipo Communication Gateway.

En el documento anexo al pliego ‘Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra’ también se indican los mínimos requisitos de integración de aplicaciones que debe cumplir cualquier equipo embarcado para su integración con sistemas centrales.

#### 2.13.2 Red ethernet embarcada

El tren debe disponer de una red ethernet embarcada (REM) para la comunicación entre los diferentes sistemas que lo requieran. La red del tren debe segmentarse en subredes con sus conductos y componentes correspondientes. La definición de 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 TMB vigentes en cada momento y ser consensuado y aprobado por TMB (área de Metro y área de tecnología individualmente).

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.

Debe existir un elemento de red de nivel 3 (a partir de ahora ‘enrutador N3’) que gestione la comunicación entre subredes. Este equipo debe estar redundado en los extremos opuestos del tren y disponer de los mecanismos necesarios para gestionar dicha redundancia.

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.

Aunque se permiten switches de nivel 2 gestionados en las subredes, se recomienda el uso de switches de nivel 3 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.

Todas las zonas definidas en la red embarcada deben comunicarse entre ellas a través de un Firewall que permita gestionar la seguridad entre ellas. Este equipo debe estar redundado en los

extremos opuestos del tren y disponer de los mecanismos necesarios para gestionar dicha redundancia. Esta solución debe ser coherente con la arquitectura de red definida.

Es recomendable que el proveedor realice una propuesta para una subred de gestión en base a la norma, que deberá ser consensuado y validado con TMB.

El cableado y conector en su conjunto deberá ser mínimo industrial de categoría 6A S/FTP para Gigabit. El cableado de la red ethernet embarcada, que corre a cargo del Adjudicatario, debe realizarse utilizando como mínimo cableado INDUSTRIAL SERIE M12X CAT. 6A S/FTP (8 PIN) 10 Gbps IP67 o su homólogo y/o superior en caso de que se elija otro conector compatible con los equipos que se conectarán a la red ethernet de metro, que las necesidades globales de los sistemas conectados tengan mayores necesidades que las que puede ofrecer este cableado o que así lo aconseje por las condiciones en las que se instalará, por ejemplo, cables apantallados para evitar interferencias (p.ej.: apantallamientos, etc.). Cualquier cambio debe ser consensuado y aprobado por TMB.

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. Toda la solución, equipos, cableado y conectores deberá ser coherente.

Adicionalmente a los equipos anteriores, esta red dispondrá de:

- 2 CPUs multipropósito por tren que albergará otros sistemas y servicios transversales como pueden ser la video vigilancia (centralita local) CCTV, video difusión de TFTs al pasaje (centralita local) SIU, etc. También dispondrá de comunicaciones tren-tierra para CCTV y SIU. Las características de estas CPUs multipropósito se explica en siguientes apartados.
- 2 Communication Gateway por tren que actuarán de Gateway de comunicaciones general.

En el documento 'Arquitectura redes embarcadas y comunicaciones tren-tierra' adjunto al pliego se puede encontrar más información relacionada con la red embarcada, sus comunicaciones y requerimientos de integración.

Las funciones del Adjudicatario, entre otras, será la de suministrar, 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, enrutador N3, Communication Gateway, firewall, rack, cableado...), para la configuración e instalación de la red ethernet embarcada, 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.

Para los equipos del tipo switch, enrutador N3, Communication Gateway, firewall y CPU multipropósito, el adjudicatario también deberá cumplir con los apartados 7.1 y 7.4 (formación), 8.1, 8.2, 8.3 y 8.4 (garantía, soporte y mantenimiento) y el 9 (documentación) del documento anexo 'Anexo Communication Gateway' adaptándolo a las características de cada equipo.

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. Los equipos deberán estar conectados en el previo de batería.

También recae sobre el Adjudicatario la garantía de los equipos y materiales suministrados por él, tanto para trenes como de stock, maquetas o elementos sueltos. La garantía será misma que se haya indicado para el tren o 3 años, lo que sea superior.

El Adjudicatario, en fase de proyecto deberá entregar la siguiente documentación que permita tener una correcta y completa comprensión de los sistemas, equipos y elementos que estén conectados a la Red Ethernet Embarcada, así como su integración con los elementos del tren:

- AsBuild que permita conocer el diseño, arquitectura, integraciones, funcionalidades y configuración del sistema en su conjunto.
- El formato y contenido de los registros (logs embarcados) y su gestión.
- Plan de instalación y checklist de validación.
- Plan de mantenimiento.
- Normas, certificaciones, ensayos y marcados que le apliquen.
- Otra documentación general o de detalle de interés que se defina durante la fase de ingeniería y entrega del proyecto.
- Se deberá proveer de la documentación necesaria para que el tren pueda operar según otros modelos de operación.

Todos los documentos deberán ser revisados y validados por TMB.

El Adjudicatario, en fase de proyecto debe proporcionar a FMB las herramientas, documentación, formación y código fuente para poder evolucionar, actualizar, modificar, configurar, gestionar y operar los switches, el enrutador N3, firewall y el Communication Gateway, 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.

La formación y los costes derivados correrán a cargo del Adjudicatario, y será impartida en las dependencias de FMB a cargo del Adjudicatario. Todos los cursos requerirán de medios audiovisuales y deberán disponer de la corriente documentación. Previa a la celebración de cada uno de los cursos, y con antelación suficiente, el contratista entregará a TMB la documentación correspondiente al curso específico, que deberá recibir la aprobación de TMB. Se deberá prever la necesidad de adaptar los cursos a los horarios del personal: cursos de mañana/tarde/noche: Realizando, como mínimo, dos formaciones por turno:

- Perfil mantenedor de taller: 3 sesiones por línea y turno (mañana/tarde/noche).
- Perfil técnico y gestores área de tecnología (centro soporte 24\*7 de área de tecnología): mínimo 2 sesiones en horario de oficina.
- Perfil responsable tecnológico del sistema: mínimo 3 sesiones en horario de oficina.

En general, para esta formación y otras del presente apartado 2.13, se deberá entregar como documentación complementaria la formación en formato video-tutorial para que el personal de FMB pueda refrescar el contenido posteriormente.

La formación deberá ser impartida por personal técnico del fabricante o integrador, con experiencia demostrable en despliegues similares y en el hardware/software de la solución.

#### 2.13.2.1 Bancos y material de laboratorio REM

A modo de resumen a continuación se indican os bancos de laboratorio en general de área de tecnología, material relacionado e hitos de entrega que deberá cumplir el adjudicatario:

- Banco A → Debe contener 3 switches, 2 enrutadores N3, 2 Firewalls, 2 Communication Gateway, 2 CPUs multipropósito, una antena exterior por CPU multipropósito ,2 puestos de motorista, 4 cámaras de pasaje, 1 cámara de cabina, 2 pantallas de información al usuario.
- Banco B → 2 CPUs multipropósito, 2 switch, una antena exterior por CPU multipropósito
- Banco C → 2 CPUs multipropósito, 2 switch, una antena exterior por CPU multipropósito, 2 pantallas de información al usuario

- Banco D → De iguales características que el banco B
- Equipos de stock extra para laboratorios:
  - 2 CPUs multipropósito
  - 2 switchs
  - 1 enrutador N3
  - 1 Firewall
  - 1 Communication Gateway
  - 1 antena
  - 2 pantallas de información al usuario

Todos los racks deberán incluir su cableado correspondiente, soportes, rack, etc. Este rack deberá ser 100% operativo para ser utilizado como banco de pruebas de TMB y disponer de espacios y soportes necesarios para equipar otros equipos que se listarán más abajo en el presente pliego. Este rack no deberá exceder de 1 metro de ancho, 1 metro de fondo y 1.5 metros de alto. Deberá ser compatible para su uso en oficinas alimentándose a 220V. Los bancos estarán diseñados y dimensionados para que puedan estar sobre una mesa de escritorio de manera ordenada y con espacio reducido.

En caso de que los equipos de los bancos tengan nuevas versiones se tendrá que entregar a TMB sus paquetes de actualización, así como las herramientas y el manual que explican cómo actualizarlo. No obstante, TMB puede solicitar al licitante que actualice dichos equipos con las nuevas versiones.

Estos elementos son adicionales a los solicitados en otras secciones del pliego o anexos (p.ej.: anexo relacionado con garantía, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, etc.). El retraso en la entrega del material de este punto o la información necesaria para completar los desarrollos del SOFTWARE de la centralita o de pantallas al proveedor del software de video difusión o a TMB comportará un retraso proporcional en la entrega del software que TMB le proporcionará al Adjudicatario y que tendrá que asumir e incluir en su planificación sin que ello afecte al resto de aspectos del tren (otros sistemas, fases, hitos de entrega, etc.).

El retraso en la entrega del material de este punto o la información necesaria para completar los desarrollos de terceros, como por ejemplo para completar los desarrollos del software de la centralita o de pantallas al proveedor del software de video difusión, comportará un retraso

proporcional en la entrega del software que TMB le proporcionará al Adjudicatario y que tendrá que asumir e incluir en su planificación sin que ello afecte al resto de aspectos del tren (otros sistemas, fases, hitos de entrega, etc.).

Los tiempos de entrega son los siguientes:

- 18 meses tras formalización del contrato:
  - Entregar, configurar, instalar y poner en marcha a TMB-Área de tecnología en la ubicación que se indique el banco A
    - Material extra (adicionales al banco A)
      - 4 switches
      - 4 CPUs multipropósito
      - 2 pantallas de video difusión al pasaje
      - Cableado para conectar las 4 CPUs a los switches (4 unidades), cableado para conectador los switches entre si (2 unidades) y cableado para conectar las 2 pantallas de información al usuario a los switches (2 unidades)
- 24 meses tras formalización del contrato
  - Entregar, configurar, instalar y poner en marcha a TMB-Área de tecnología en las ubicaciones que se indique los bancos B, C y D. Las ubicaciones podrán ser de TMB o terceros. Para estos bancos se podrá utilizar en el momento de implantación el material extra entregado a los 18 meses correspondiente a 2 CPUs multipropósito y 2 switches.
  - Elemento/simulador (incluye herramientas, documentación, manuales y formación) que emule la red TCN y el intercambio de información con esta (elemento que conectado a la REM pueda simular la publicación de las variables propias del TCN necesarias para la CPU multipropósito y sus sistemas como CCTV, sistema de información al usuario, etc. de manera simple y rápida). Debe simular la información necesaria para validar todas las funcionalidades a implementar por la CPU multipropósito. Por ejemplo, para el caso del sistema de video difusión se incluirán todas las variables origen necesarias (p.ej.: (línea, vía, circuito vía, estación actual, próxima estación, momento del tren, lado

puertas seleccionado y abierto, metros recorridos, relacionados con modos degradados, mensajes del conductor, etc.).

Este software deberá irse actualizando a medida que vayan cambiando las variables en las diferentes versiones de software, permitiendo a TMB y terceros validar sus soluciones

- Resto de equipos pendientes de entregar.

Los equipos aquí mencionados de los bancos se acabarán de definir en los siguientes apartados del pliego.

#### 2.13.3 Switch REM

Los switchs 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)
- Rango de temperatura de operación mínimo de -20°C ~ 70°C.
- 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 62380.

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-Área de tecnología 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.

#### 2.13.4 Modelo de datos

Los equipos dentro de la Red ethernet embarcada compartirán la información siguiendo el modelo de datos de TMB 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 el área de tecnología de TMB su contenido y formato. Cualquier sistema conectado a la Red ethernet embarcada podrá suscribirse a los topics que considere necesarios previa autorización del área de tecnología de TMB.

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 TMB considere como necesarias y que lleguen a las CPUs multipropósitos (y a otros equipos que así se indiquen en fase de proyecto) 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 necesaria y modos degradados para que la información que proporcione sea la correcta. Y en el caso que TMB 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 en insitu 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 proyecto se acabarán de especificar las variables a publicar en el TCN con destino la CPU multipropósito según las necesidades de TMB 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 apertura 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 quilométrico 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 descritos en los anexos 'Funcional\_Pantalles\_Videodifusio\_nous\_trens\_2025\_v1' y '21-538-MANUAL\_PantallesVideodifusió-Trens' 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 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 órdenes (de apagados, reinicios, envío de órdenes de forzado/liberación energética, timeouts...), etc.
- Toda la información de ayuda al personal de conducción y que esté disponible en el puesto de conducción (IHM), 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 TMB indique en fase de proyecto.

### 2.13.5 CPU Multipropósito

El Adjudicatario dotará a los trenes de dos CPU multipropósito por tren. Cada CPU incluirá un módem LTE/5G y un módulo WiFi 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 la adquisición, 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 (CPU, 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 a la tensión suministrada por el tren. El equipo deberá estar conectado en el previo de batería.

También recae sobre el Adjudicatario la garantía de los equipos y materiales suministrados por él, tanto para trenes como de stock, maquetas o elementos sueltos. La garantía será misma que se haya indicado para el tren o 3 años, lo que sea superior.

#### 2.13.5.1 Características técnicas (HW y Plataforma)

El equipo a suministrar por el Adjudicatario como CPU multipropósito será un PC industrial homologado para entornos ferroviarios conforme a la EN50155, 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 TMB indique para posibles evoluciones futuras del mismo.

Dicha CPU multipropósito a proporcionar por el Adjudicatario (fabricante y modelo, características, customizaciones, etc.) debe ser la que esté homologada por el área de tecnología de TMB y vigente en el momento de la licitación/inicio del proyecto. Actualmente es una CPU industrial customizada a medida para TMB basada en Sintrones, la cual, tiene un sistema operativo con Debian 13 junto a la plataforma Linux industrial de TMB. Esto es debido a que, por gestión tecnológica, de mantenimiento, operación (unificar nativas), obsolescencia, etc. existe una homogenización de los equipos y servicios transversales que forman la Red Embarcada de Metro tanto a nivel hardware (adaptación de la plataforma a dicho hardware, aspectos ligados a

mantenimiento, retrocompatibilidades, etc.) como a nivel software (compatible con desarrollos software previos, integrable en la nativa central de video vigilancia y otros servicios centrales, retrocompatibilidad con otras series, etc.). Este modelo puede variar en el tiempo debido sobre todo a la gestión de la obsolescencia o necesidades tecnológicas y funcionales. Tanto el hardware como el software de la CPU multipropósito (con excepción del Software del sistema de video difusión de TFTs al pasaje) es un producto realizado y customizado a medida para TMB con derechos de exclusividad de un tercer proveedor (en este caso GMV).

#### 2.13.5.2 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 mediante protocolo MQTT y modelo de datos indicado en puntos anteriores. El modelo de datos dispone de un topic con información sobre el tipo de comunicaciones, el estado, la tecnología, cobertura, llegada a depósitos...

Por último, indicar que la comunicación entre el nodo de comunicaciones y los sistemas centrales de TMB se realiza a través de un APN privado interno de TMB. 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.

Hay que destacar que no es el objetivo de la CPU multipropósito paliar las posibles carencias Hardware o software de otros sistemas del tren (p.ej.: aplicar masquerading, problemas al interpretar el protocolo NTP, etc.), siendo sus servicios de propósito general y transversal. Cualquier modificación 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 el área de tecnología de TMB.

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 al modelo de datos de TMB que se basa en API MQTT y REST con estructura de datos en JSON y viceversa para dichos sistemas. 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 TMB 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 TMB en fase de 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 TMB considere oportunos. Queda bajo la responsabilidad del Adjudicatario realizar aquellas modificación o ampliación 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. Cualquier modificación del equipo y software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por el área de tecnología de TMB. 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.

#### 2.13.5.3 Flota objetivo

La flota objetivo que se incluye en el presente pliego es:

- Todos los trenes a suministrar bajo la presente licitación, con 2 CPUs por tren.
- Bancos de laboratorio y bancos de pruebas.
- 10% mínimo para stock de mantenimiento respecto equipos instalados.

#### 2.13.5.4 Hitos y entregas

El Adjudicatario entregará 6 meses antes de la entrada a servicio del primer tren la siguiente documentación::

- Información básica (fabricante y modelo del equipo, datasheet, etc.) de la CPUs multipropósito.
- Entrega documentación final: datasheet completo, esquema eléctrico, 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.

#### 2.13.5.5 Antenas exteriores

El Adjudicatario será el encargado de adquirir, cablear e instalar en el techo del tren una antena (LTE/5G+WiFi mínimo 2x2 MIMO) por cada CPU multipropósito. El Adjudicatario será también el responsable del diseño de implantación de dichos equipos en el tren e instalación aportando el material necesario para ello, además, participará en las pruebas de integración y validación del sistema.

El Adjudicatario deberá instalar la antena donde sea óptimo, para ello deberá presentar un estudio de cobertura para establecer la ubicación presentando el mapa de cobertura. Será el encargado de proporcionar los soportes para la instalación, así como el cableado que va de la CPU multipropósito a la antena, éste cableado deberá cumplir las especificaciones del fabricante de la antena.

Las antenas deberán poder soportar como mínimo las bandas Europeas y en concreto las bandas españolas actuales y futuras de 4G y 5G. Por ejemplo:

5G SA and NSA (3GPP Release 17)

FR1 FDD-LTE Bands: n1, n2, n3, n5, n7, n8, n12, n20, n28, n66, n71.

FR1 TD-LTE Bands: n38, n41, n77, n78, n79.

FR2 mmWave: n257, n258, n260, n261.

LTE Advanced-Pro (3GPP Release 15)

FDD-LTE Bands: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 66, 71.

TD-LTE Bands: 34, 38, 39, 40, 41, 42, 46 (LAA), 48 (CBRS).

UMTS/HSPA+ (3GPP Release 8):

FDD Bands: 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 19.

WIFI a 2.4 y 5GHz, compatibles con los sistemas WLAN de TMB, etc.

Además, las antenas deberán ser de perfil bajo, baja corrosión y cumplir con las certificaciones:

- EN 50155.
- Environmental tests: EN 50155:2007.
- Fire retardant acc. to DIN 5510-2, BS 6853, NF F16-101/102, EN 45545-2.
- No voltage on RF port, if the catenary line touches the antenna (EN 50124-1, 24 kVAC).
- High-current-protection: Designed acc. to UIC 533, DC-grounded antenna element (protection against lightning and short circuit with catenary lines (40kA/0.1s)).
- Mínimo IP67.

Los conectores de las antenas deben ser Fakra.

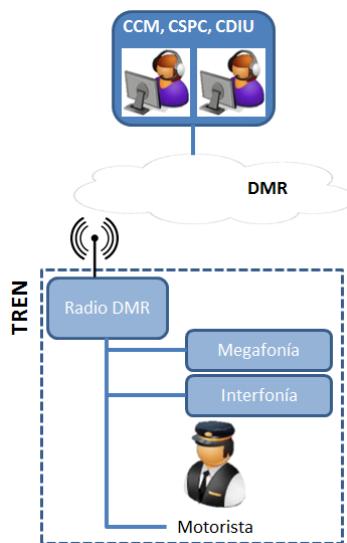
#### 2.13.6 Sistema de Radio DMR

El personal de conducción podrá iniciar y recibir conversaciones hacia/desde el CCM.

El sistema permitirá realizar comunicaciones de grupo y comunicaciones individuales.

Desde CCM se podrá activar la comunicación con Megafonía interna de tren de manera remota sin necesidad de intervención del personal de conducción.

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.



*Modelo operativo para el sistema de radio embarcada*

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.

La carga local de actualizaciones de software y firmware de los equipos se realizará de forma local mediante una conexión física con el PC y software correspondientes.

El sistema de radio reportará su estado y alarmas al sistema informático del tren y a la consola del radio teléfono en cabina.

Cada cabina del tren dispondrá un rack de radio DMR y de una consola de radio para el personal de conducción.

#### 2.13.6.1 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, integrado en el rack de radio ferroviario modelo ErvocomTRS2090.

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).

Las características técnicas del sistema de radio digital DMR a instalar en los trenes serán las siguientes:

- Redundancia de radio cabeza-cola.
- Con conexión a la red troncal (TCN).
- Interconexión con Megafonía.
- Interconexión con Interfonía.
- Conexión Red Troncal Embarcada.

El Adjudicatario será el responsable de adaptar el DMR a la tensión y conexión del tren a la Red Troncal TCN.

Dispondrá de la función de radio megafonía para comutar la llamada de audio desde el CCM al sistema de megafonía a pasaje.

EL sistema dispondrá de una interfaz Ethernet adaptada al entorno ferroviario (M12) para las comunicaciones que puedan realizarse a través de la red de comunicaciones embarcada Ethernet.

#### 2.13.6.2 Consola de Radio DMR

Cada cabina estará dotada con una consola de radio DMR.

Cada cabina estará dotada de los siguientes elementos:

- Consola de comunicaciones modelo CoCo2167 del fabricante Ervocom con pantalla-display y el teclado 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).
- Altavoz modelo SM09D1 del fabricante Hytera.

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 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. DB26 pin audio port.

Speaker Specifications:

Rated Impedance:  $8\Omega \pm 15\%$  (@ 500Hz) ;  
Sound Pressure Level:  $88 \pm 2$ 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*

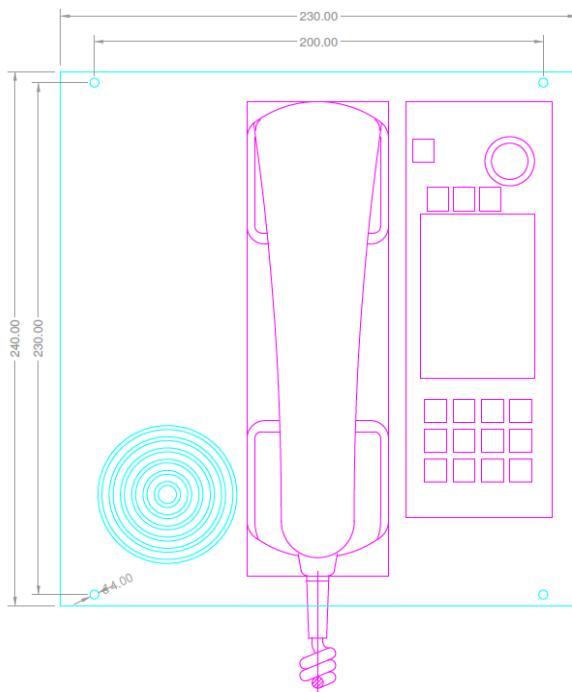


*Dimensiones de los elementos (Consola CoCo2167 y Microauricular) del Pupitre Radio  
Ervocom / Hytera*

Todo este equipamiento estará integrado, conectado y mecanizado en un Pupitre de conducción. En caso de avería, la sustitución el equipo será fácil de realizar.

Todo el conjunto de pupitre radio DMR embarcado estará 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 la consola Radio DMR embarcada:



*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.

#### 2.13.6.3 Antena Radio del tren

Cada cabina dispondrá de una antena radio instalada en el exterior, que se conectará al rack radio de cada una de las cabinas.

Las antenas radio exteriores serán:

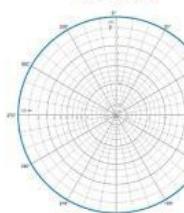
- Modelo VHF 403-2 del fabricante Skymast o compatible con las mismas características:



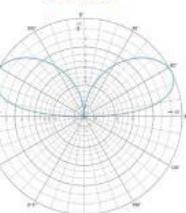
<b>Frequency range</b>	138-220MHz (3-4MHz Tx bandwidth)
<b>Input impedance</b>	50Ω
<b>VSWR</b>	<2.0:1
<b>Maximum input power</b>	50 Watts
<b>Polarisation</b>	Vertical
<b>Gain</b>	1dBi
<b>Grounding</b>	Direct grounded
<b>Ground plane required</b>	Typical 1.2m x 1.2m
<b>Connection</b>	Cables / connector to requirements
<b>Dimensions</b>	673 x 144 x 62mm
<b>Mounting holes</b>	2 x 25mm holes, 517mm centres
<b>Weight</b>	1.5kg approx
<b>Housing material</b>	ABS
<b>Other materials</b>	Aluminium, PTFE, Brass, Nylon
<b>Colour</b>	Traffic White RAL9016
<b>Operating temperature range</b>	-30°C to +70°C
<b>Storage temperature range</b>	-50°C to +70°C
<b>Relative humidity</b>	5% to 95%RH
<b>Water resistance</b>	To IP67 (external, when installed)

**Free space radiation patterns**

**H-Plane**



**E-Plane**



**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 o compatible con las mismas características:

**Descripción / Description**

La antena BP-0270 es una antena multibanda de bajo perfil para usar en outdoor mobile applications on trains. Its frequency range is aplicaciones móviles de exterior. Cubre el rango de from 145 to 174 MHz and from 380 to 470 MHz. All antenna frequencies de 145 a 174 MHz y de 380 a 470 MHz.parts are DC grounded. The antenna complies with EN 50155:2007 about electronic devices onboard trains, NF F 16-102 about fire/smoke tests. La norma EN 50155:2007 de equipos antena also has an IP65 protection. The radome is made electrónico sobre ferrocarriles, NF F 16-101:1998 y NF F 16-102 de ensayos de fuegohumo. Además tiene una robusta molded aluminium base. The antenna is painted with una protección IP65. La radome está realizada en RAL-7035 colour, but it is possible to order in other colours. fibra de vidrio moldeada y se monta sobre una base metálica muy robusta de aluminio moldeado. La antena está pintada en RAL-7035, pero existe en otros colores bajo pedido.

**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

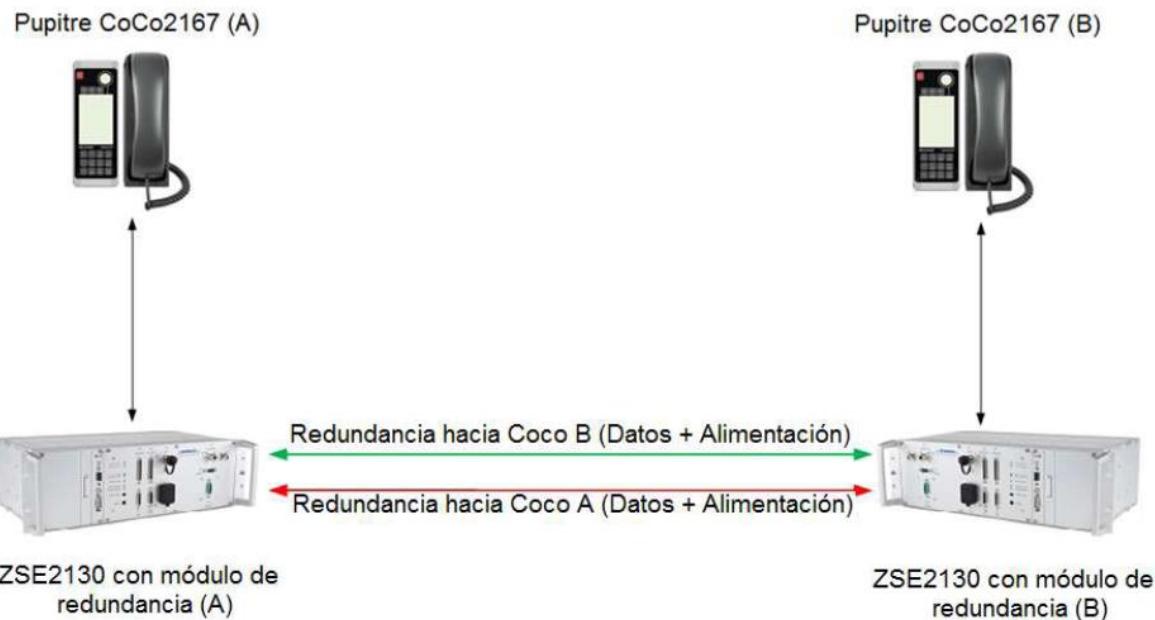


*Características de la BP-0270 del fabricante Lambda Antenas*

El rango de frecuencias en el que funcione la antena (Modelo BP-0270) será el que se indica en las características de la antena, incluyendo el rango de frecuencias del sistema Radio DMR de Metro que está en el rango de frecuencias de 170 MHz.

#### 2.13.6.4 Cableado de conexión del sistema Radio DMR

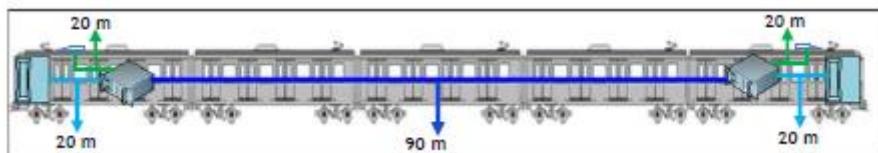
La arquitectura de interconexión entre los equipos con redundancia del sistema radio DMR del tren se muestra a continuación:



*Interconexión entre equipos con redundancia del sistema de radio DMR*

El Adjudicatario instalará todos los cableados necesarios en el tren para la conexión de todos los equipos del sistema radio DMR. 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:



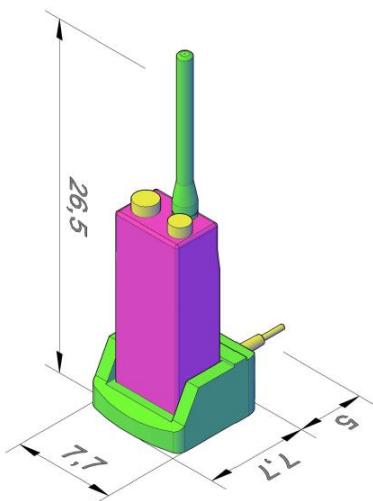
*Esquema de cableado de los trenes para el sistema de radio*

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.

#### 2.13.6.5 Cargadores de terminal portátil DMR (walkie) en cada cabina

En cada una de las cabinas del tren se instalará un cargador para el terminal portátil DMR (walkie) del personal de conducción. El modelo del walkie es el PD785G 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*

#### 2.13.6.6 Alcance del sistema Radio DMR

FMB suministrará al Adjudicatario los siguientes equipos:

- Rack Radio DMR configurado de cada cabina de tren (2 racks por tren).
- Consola Radio DMR configurada para cada cabina de tren (2 consolas 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 será responsable de las pruebas y validación del sistema, así como la puesta en servicio.

#### 2.13.7 Megafonía

El personal de conducción podrá activar el sistema de megafonía para transmitir mensajes directos al público 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. Se darán de alta en el tren mensajes pregrabados ya configurados y se dejarán preparados mensajes genéricos para su

possible uso por parte de FMB de manera autónoma en un futuro. El sistema tendrá capacidad para que de forma remota gestionar los mensajes: actualizar, modificar añadir...

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.

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 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 de Bip-Bip de cierre de puertas, a partir de una orden recibida por el sistema que controle las puertas.

El sistema de megafonía tiene que poder gestionar los indicadores luminosos de andén, de forma coordinada con el anuncio de próxima estación.

El tren deberá poder sincronizar los mensajes de megafonía con los que se emitan en estaciones.

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. Debe ser independiente de las acciones del personal de conducción. En conducción con el personal de conducción debe alertarse al personal de conducción de que se está haciendo uso de la megafonía desde el Centro de Control.

Los mensajes pregrabados se tienen que poder activar remotamente.

Se deben poder cargar nuevos mensajes pregrabados.

Desde el Repositorio Central del Centro de Control debe poder realizarse la carga remota de actualizaciones de software y firmware de los equipos.

Se debe almacenar un log de mensajes reproducidos por el sistema de megafonía.

Se deben almacenar en local todos los mensajes de megafonía hablada generados por el personal de conducción, junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...). Estas grabaciones deben ser fácilmente exportables.

La priorización de mensajes será la siguiente:

- Bip-Bip de puertas.
- 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 y a un sistema global embarcado de monitorización remota de alarmas.

El sistema de Megafonía debe poder reportar un histórico con su estado y log de alarmas 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.

Los requerimientos técnicos que deben cumplir como mínimo el sistema de megafonía son:

<b>Id</b>	<b>Concepto</b>	<b>Requerimiento</b>
<b>MEG.NOR01</b>	<b>Normativa y estándares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN50155 (certificación ferroviaria).</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>UNE EN 45545: Protección contra el fuego en vehículos ferroviarios.</li> <li>UNE EN 50121-3-2: Aplicaciones ferroviarias Compatibilidad electromagnética.</li> <li>EN 61373: Material rodante, Ensayo de choques y vibraciones.</li> </ul>
<b>MEG.AMB01</b>	<b>Condiciones medioambientales</b>	Temperatura de operación: -25°C a +70°C (EN 50155 Clase T3).
<b>MEG.INST01</b>	<b>Instalación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las centrales de megafonía se pueden instalar enrackados en la cabecera del tren o en algún otro compartimento habilitado para ello dentro de cada coche o en la parte inferior del tren.</li> </ul>
<b>MEG.ALIM01</b>	<b>Alimentación eléctrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica con fuentes de alimentación (Dual Power Supply), adaptable a las características eléctricas del tren.</li> <li>Consumo inferior a 25W/switch (más el consumo de los elementos que se alimenten por POE).</li> </ul>
<b>MEG.GEST01</b>	<b>Gestión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere poder operar tanto en forma local como en remota.</li> <li>Permitir configurar y gestionar el sistema megafonía y los mensajes pregrabados conectándoles un PC y mediante una conexión de datos permite configurar y gestionar el sistema de megafonía y los mensajes pregrabados.</li> </ul>
<b>MEG.RED01</b>	<b>Redundancia</b>	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 del 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. En cada cabecera existirá un pupitre o interfaz de gestión del sistema de megafonía fijo, incluyendo micrófono, PTT y un teclado o pantalla de operación, pero únicamente estará activa la interfaz de operación/gestión en la que opere el personal de conducción. La central de la cabecera 'activa' se erigirá como 'master' del sistema y permitirá la gestión global desde el pupitre o panel del personal de conducción correspondiente.

La arquitectura deberá ser IP mediante SIP (SessionInitiationProtocol) con redundancia. Éstas se conectarán entre sí mediante la red Ethernet embarcada.

Las centrales de los coches cabecera conectarán con los pupitres o paneles de control del personal de conducción y con los sistemas de comunicación que permitirán su gestión remota.

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 contaje 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.

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 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.

Los mensajes automáticos de siguiente parada se encontrarán grabados en la central del sistema.

La integración de la capa de contenidos multimedia del sistema de megafonía que es la información parametrizable por el usuario/FMB a posterior (p.ej.: el contenido de los mensajes pregrabados, ficheros de audio, etc.) debe realizarse de tal manera que se puedan realizar cambios posteriores sobre la misma sin que estos impliquen tener que volver a pasar las certificaciones/pruebas del SafetyTest – ISA. Es responsabilidad del Adjudicatario tanto las modificaciones necesarias para obtener este objetivo como la documentación que lo acredite ante FMB y terceros (certificadores, controles de seguridad, ISA, etc.).

#### 2.13.7.1 Centralita de megafonía

Existirán dos equipos de comunicación de voz, uno en cada cabecera, pudiendo haber más si el Adjudicatario lo considera necesario. Las centrales de cabecera podrán comunicarse con cualquiera de los equipos. Éstas se comunicarán entre sí a través de la red Ethernet embarcada multiservicio.

Cada una de estas centralitas deberá controlar los periféricos del sistema asociados al coche en cuestión (micrófono de sonido ambiente, altavoces e indicadores de andén).

Los datos de posición para controlar ciertos periféricos se recibirán a través del TCN. Además, sobre esta red las centralitas deberán reportar sus estados y alarmas.



Periféricos asociados a cada una de las centralitas

#### 2.13.7.2 Centralita del personal de conducción

En las centrales de las cabeceras además de las especificaciones anteriores se deberán gestionar tanto las interfaces de gestión del personal de conducción como las comunicaciones tren-tierra entre el sistema y el Centro de Control además de otros sistemas que sólo están en las cabeceras, como por ejemplo los carteles de tren.

En cada cabecera existirá un pupitre o interfaz de gestión del sistema de megafonía fijo, incluyendo micrófono, PTT y un teclado o pantalla de operación, pero únicamente estará activa la interfaz de operación/gestión en la que opere el personal de conducción. La central de la cabecera 'activa' se erigirá como 'master' del sistema y permitirá la gestión global desde el pupitre o panel del personal de conducción correspondiente.

#### 2.13.7.3 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 a los pasajeros 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.

#### 2.13.7.4 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.

#### 2.13.8 Interfonía

Los requerimientos técnicos que deben cumplir como mínimo el sistema de interfonía son:

##### **Operativa Local**

<b>IF.OL01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El personal de conducción puede iniciar una llamada desde el puesto del personal de conducción a un interfono concreto.</li> </ul>
<b>IF.OL02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>
<b>IF.OL03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El personal de conducción puede recibir y contestar las llamadas de un interfono debido a la activación del tirador de emergencia por parte pasaje.</li> </ul>
<b>IF.OL04</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al personal de conducción le comuta automáticamente la cámara del sistema de video vigilancia asociada al interfono activado.</li> </ul>
<b>IF.OL05</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El personal de conducción puede derivar al CCM una comunicación establecida con el pasaje, mediante la pulsación del botón correspondiente en el panel de control de que disponga en el pupitre.</li> </ul>
<b>IF.OL06</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al recibirse una llamada de interfonía por parte del pasaje se debe poder identificar el interfono activo, así como la fuente de dicha activación (pulsador o tirador de urgencia).</li> </ul>
<b>IF.OL07</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>

<b>Operativa Automática</b>	
<b>IF.OA01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las llamadas realizadas por un pasajero 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.</li> <li>En todo caso, la central estará preparada para interconectar por protocolo SIP con los sistemas de Telefonía e Interfonía de TMB, de forma que, si se dispone de medio de conectividad TCP/IP</li> </ul>

	fiable entre el tren y CCM, se podrá optar porque esta comunicación (interfono – CCM) se realice por conexión IP, mediante registro SIP.
--	--

Operación Remota (Centros de Control)	
<b>IF.OR01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión unificada desde un único puesto de gestión de interfonía tanto para líneas convencionales como automáticas.</li> </ul>
<b>IF.OR02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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 el 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.</li> <li>De forma equivalente a IF.0A01, en la situación de llamada de CCM a un interfono, mediante señalización de estado DMR, se solicitará a la radio que dialogue con la centralita de Interfonía, traspasándole la identificación del interfono a llamar. La central de Interfonía deberá confirmar el establecimiento de la conexión y, una vez establecida la llamada (con la radio y con el interfono X), deberá generar la señal de PTT constante hacia la radio. Será CCM quien, por prioridad de PTT, irá interrumpiendo al pasajero para hablar.</li> </ul>
<b>IF.OR03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La comunicación remota para interfonía debe ser independiente de la comunicación remota de megafonía. Se debe poder disponer de canales de comunicación independientes.</li> </ul>
<b>IF.OR04</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al recibirse una llamada de interfonía por parte del pasaje se debe poder identificar el interfono activo, así como la fuente de dicha activación (pulsador o tirador de emergencia).</li> </ul>
<b>IF.OR05</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al recibirse una llamada de interfonía por parte del pasaje la cámara del sistema de video vigilancia asociada al interfono debe conmutar automáticamente.</li> </ul>
<b>IF.OR06</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde el Repositorio Central del Centro de Control debe poder realizarse la carga remota de actualizaciones de software y firmware de los equipos.</li> </ul>

Registro	
<b>IF.RE01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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, ...). Estas grabaciones tienen que poder ser fácilmente exportables.</li> </ul>
<b>IF.RE02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben almacenar en el Centro de Control todas las conversaciones de interfonía hablada entre el personal de conducción y el pasaje, junto con información relacionada relevante (fecha, hora, ...). Estas grabaciones tienen que poder ser fácilmente exportables.</li> </ul>
<b>IF.RE03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionalmente a los dos requerimientos anteriores que aplican al sistema nativo correspondiente, también se debe poder grabar 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.</li> </ul>

Mantenimiento	
<b>IF.MT01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de Interfonía debe poder reportar su estado y alarmas a un sistema global embarcado de monitorización de alarmas.</li> </ul>
<b>IF.MT02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de Interfonía debe reportar su estado y alarmas a un panel de control en la cabina del personal de conducción.</li> </ul>
<b>IF.MT03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de Interfonía debe reportar su estado y alarmas en los Centros de Control.</li> </ul>
<b>IF.MT04</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema de Interfonía debe poder reportar un histórico con su estado y log de alarmas 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.</li> </ul>

### Requerimientos generales

<b>INT.NOR01</b>	<b>Normativa y estándares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EN50155 (certificación ferroviaria).</li> <li>• EN5510-2 (seguridad contra incendios).</li> <li>• EN6100-4-X y EN55022 (interferencias electromagnéticas).</li> <li>• IEC 60068-2-27 e IEC 60068-2-6 (resistencia a golpes y vibraciones en los trenes).</li> <li>• IP 54 (protección frente a polvo y agua).</li> </ul>
<b>INT.AMB01</b>	<b>Condiciones medioambientales</b>	Temperatura de operación: -25°C a +70°C (EN 50155 Clase T3).
<b>INT.INST01</b>	<b>Instalación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las centrales de interfonía se pueden instalar enrackados en la cabecera del tren o en algún otro compartimento habilitado para ello dentro de cada coche o en la parte inferior del tren.</li> </ul>
<b>INT.ALIM01</b>	<b>Alimentación eléctrica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación eléctrica con fuentes de alimentación (Dual PowerSupply), adaptable a las características eléctricas del tren.</li> <li>• Consumo inferior a 25W/switch (más el consumo de los elementos que se alimenten por POE).</li> </ul>
<b>INT.GEST01</b>	<b>Gestión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se debe poder operar tanto en forma local como en remota.</li> <li>• Permite configurar y gestionar el sistema de interfonía conectando un PC y mediante una conexión de datos permite configurar y gestionar el sistema de interfonía.</li> </ul>
<b>INT.RED01</b>	<b>Redundancia</b>	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 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 del 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 central de la cabecera ‘activa’ se erigirá como ‘master’ del sistema y permitirá la gestión global desde el pupitre o panel del personal de conducción correspondiente.

En cada cabecera existirá un pupitre o interfaz de gestión del sistema de interfonía fijo, incluyendo micrófono, PTT y un teclado o pantalla de operación, pero únicamente estará activa la interfaz de operación/gestión en la que opere el personal de conducción.

Se requiere la existencia de dos equipos de comunicación de voz, uno en cada cabecera, y que cualquiera de las centrales de cabecera pueda comunicar con cualquiera de los dos equipos. Éstas se comunicarán entre sí mediante la red Ethernet embarcada.

El nivel de audio de los altavoces (potencia) se ajustará de forma independiente en cada coche en función del nivel sonoro medido, la detección de peso en el coche o el contaje de personas, o bien la combinación de varios de estos sistemas.

La potencia de salida de audio máxima debe ser superior a 24W/equipo.

Las comunicaciones de interfonía-cabina quedarán grabadas junto con las señales de video vigilancia, de forma que al descargar las imágenes se descargue automáticamente el audio asociado sin necesidad de hacer ninguna otra acción.

Las actualizaciones y configuraciones del sistema y elementos que lo componen deberán poderse realizar 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 equipos de la Red Ethernet embarcada se realizará a través del modelo de datos de TMB que se basa en una API MQTT y REST con estructura de datos JSON.

Se debe garantizar la calidad de la comunicación acústica entre tirador de alarma y el puesto de conducción o CCM en cualquier circunstancia. Para ello, el Adjudicatario deberá aportar un estudio en fase de Proyecto, basado en la norma IEC 60268-16, que especifique los parámetros de inteligibilidad del habla y calidad del audio del sistema de intercomunicación.

Como mínimo, el sistema deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Speech Transmission Index (STI):  $\geq 0.45$  (calidad aceptable en entornos con ruido elevado, como estaciones o túneles de metro).
- Relación señal/ruido (SNR):  $\geq 12$  dB en condiciones normales de operación.
- Nivel de presión sonora en salida (SPL): suficiente para garantizar la inteligibilidad sobre el ruido de fondo, sin superar los 85 dB(A).
- Respuesta en frecuencia del sistema: adecuada para voz, en el rango de 300 Hz – 3400 Hz.

Además, deberán detallarse las especificaciones de la sensibilidad y patrón polar del micrófono en función de la dirección de procedencia del sonido, así como las medidas implementadas para la atenuación del ruido ambiente captado por el micrófono (por ejemplo, mediante cancelación activa de ruido o procesado digital de señal).

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

#### 2.13.8.1 Centralita de interfonía

Existirá una centralita de interfonía por tren, aunque este hecho no excluye que esta central pueda ser compartida con otros sistemas, como por ejemplo el de megafonía. Éstas deben ser integrables a nivel SIP con terceros permitiendo la interconexión desde sistemas de voz externos hacia todos los elementos (interfonos) de su red.

En cada cabecera existirá un pupitre o interfaz de gestión del sistema de interfonía fijo, incluyendo micrófono, PTT y un teclado o pantalla de operación, pero únicamente estará activa la interfaz de operación/gestión en la que opere el personal de conducción.

Las centrales de los coches cabecera conectarán con los pupitres o paneles de control del personal de conducción y con el/los sistema/s de comunicación que permitan su gestión remota desde el CCM. Todas las centrales de interfonía gestionarán los periféricos de pasaje de su propio coche: intercomunicadores de pasaje (altavoz + micrófono), pulsador y tirador de emergencia.

Las diferentes centralitas se comunicarán entre sí a través de la red Ethernet embarcada multiservicio.

Los datos de posición para controlar ciertos periféricos se recibirán a través del TCN. Además, sobre esta red, las centralitas deberán reportar sus estados y alarmas. Así mismo, la centralita debe poder monitorizar el estado de los interfonos y reportar su estado vía SNMP hacia terceros.

Las centrales deben tener un grabador para poder registrar las comunicaciones que se realicen entre el personal de conducción y el pasaje.

#### 2.13.8.2 Centralita del personal de conducción

En las centrales de las cabeceras además de las especificaciones anteriores se deberán gestionar tanto las interfaces de gestión del personal de conducción como las comunicaciones tren-tierra entre el sistema y el Centro de Control además de otros sistemas que sólo están en las cabeceras, como por ejemplo los carteles de tren.

#### 2.13.8.3 Intercomunicador del tirador de emergencia

Junto al tirador de emergencia se situará una placa con los controles del interfono y que servirá para que el pasaje pueda comunicarse con el maquinista a través del sistema de interfonía.

Esta placa equipará el altavoz, el pulsador de solicitud de conversación, el micrófono, toda la electrónica asociada y los diversos leds indicativos. El pulsador del interfono pasaje deberá tener unas características tales que evite la pulsación involuntaria por parte del pasaje por lo que no podrá sobresalir ni estar enrasado, sino ligeramente hundido. 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.

.Todos estos elementos formarán un conjunto con un conector y estará perfectamente integrado en la decoración de la caja.

La interfonía será un equipo que funcione en modo full-dúplex. Dispondrá de una señalización que indique al personal de conducción que se ha establecido conexión cabina pasaje y de otra que indique que el viajero puede hablar.

#### 2.13.8.4 Relaciones con otros sistemas

El sistema de interfonía tiene la posibilidad de habilitar la comunicación entre el pasaje y el CCM mediante el uso del canal radio tren-tierra. No obstante, las centralitas estarán preparadas para integrarse por registro SIP, en la red voip de TMB, a través de conexión TCP/IP. En este caso, se podrá comunicar bidireccionalmente (sentido tren a CCM y al revés) sobre conexión SIP.

Los tiradores de alarma y pulsadores de interfonía están conectados a las centrales de interfonía/megafonía de cada coche mediante una conexión digital. El sistema de interfonía se comunica indirectamente con el sistema de video vigilancia y permitirá sistema de video asistencia al pasaje.

### 2.13.9 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 personal de conducción. 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, el Adjudicatario proporcionará dos CPU multipropósito por tren, las cuales, tendrán integrado el software base del sistema de videovigilancia que facilitará TMB. Estas CPUs, serán las responsables de gestionar la videovigilancia. 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 TMB, las pruebas estáticas y dinámicas del sistema (preparación de documentación y realización de dichas pruebas con la aprobación y supervisión de TMB, etc.). Todas las pruebas que sean posibles se realizarán de manera remota con TMB.
- La garantía de los equipos y materiales suministrados por él, tanto para trenes, como de stock, bancos o elementos sueltos (p.ej.: CPUs, cámaras, etc.). La garantía será misma que para el tren o 3 años, lo que sea superior.

Las CPUs multipropósito estarán conectados 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 personal de conducción 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 personal de conducción) como la operación remota (ya sea con personal de conducción o sin él). Únicamente estará activado el monitor del personal de conducción de la cabina habilitada.

#### 2.13.9.1 Software de video vigilancia

Como se ha dicho en el apartado 2.13.2. CPU multipropósito, la CPU multipropósito facilitada por el Adjudicatario, deberá llevar implementado el software base del grabador del sistema de video vigilancia que facilitará FMB.

El software grabador del sistema de vigilancia facilitado por FMB estará desarrollado por un tercer proveedor (concretamente GMV y que dispone de derechos de exclusividad) y que incluye funcionalidades básicas acordadas por FMB. Queda bajo la responsabilidad del Adjudicatario 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. Cualquier modificación del equipo y software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por FMB área tecnológica.

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 permita 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.

El software incorporado en este equipo 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 TMB 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 TMB. La documentación se deberá entregar como mínimo tres meses antes de la recepción en las instalaciones de TMB del primer tren.

#### 2.13.9.2 Puesto del personal de conducción

El Adjudicatario dotará a los trenes de dos puestos (también llamadas pantallas CCTV) del personal de conducción en 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 las mismas.

El Adjudicatario será también el responsable del diseño de implantación de dichos equipos en el tren e instalación aportando el material necesario para ello, además, participará en las pruebas de integración y validación del sistema.

El software del puesto del personal de conducción CCTV debe ser capaz de:

- 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 personal de conducción: 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 personal de conducción, 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 proyecto) 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 personal de conducción 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.

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 del personal de conducción,

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.

Los requerimientos mínimos del puesto del personal de conducción 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 IP65 con brillo regulable automáticamente en función de la luz exterior. Debe tener conexión M12 para conectarse a REM, además, debe tener un mecanismo de actualización local alternativo al online para posibles evoluciones futuras.

El Adjudicatario también será responsable del software de los monitores para que cumplan con las funcionalidades indicadas anteriormente. El Adjudicatario debe proporcionar a TMB las herramientas para poder evolucionar, actualizar, modificar, configurar, gestionar y operar los puestos del personal de conducción incluyendo su sistema operativo y la instalación de Software. El proveedor 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 los puestos del personal de conducción.

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 TMB.

El Adjudicatario deberá entregar a TMB-Área de tecnología:

- Tras 5 meses (20 semanas) de la firma del contrato:
  - La documentación básica del equipo (datasheet, esquema eléctrico básico necesario y funcionalidades básicas)
- Tras 8 meses (32 semanas) de la firma del contrato:
  - La documentación completa (p.ej.: funcionalidades completas, checklist de validación del equipo sin incluir las integraciones que quedan bajo la responsabilidad del Adjudicatario, etc.)

#### 2.13.9.3 Cámaras

La ubicación y el número de cámaras del sistema 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. Se considerará como plano de análisis la zona más alejada, de cobertura normal de una cámara. 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 pasajeros. Se debe aportar en fase de proyecto un estudio de cobertura para analizar el número de cámaras a instalar. Todas las cámaras interiores estarán ocultas y adecuadamente protegidas frente a actos vandálicos.

Se dispondrá de una cámara cenital en cabina de conducción con visión de la puerta de emergencia frontal. Dicha cámara tendrá visión directa para dar indicaciones en caso de emergencia.

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 personal de conducción pueda identificar a la persona que ha entrado en el otro puesto de conducción. Su funcionamiento se definirá en fase de diseño.

Se instalará en ambos lados del exterior del tren 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.

También se podrá seleccionar de forma manual las cámaras para su visualización, como por ejemplo para maniobras de marcha atrás.

Adicionalmente, se deberán instalar, en los 2 primeros trenes que se pongan en servicio de cada línea, mínimo 2 cámaras adicionales en cada MA, que enfoquen las pantallas de encima de las

puertas de ambos lados del coche y que entre otros servirán para realizar la validación y seguimiento de software de las pantallas de video información. Como mínimo se deben poder ver las 2 primeras pantallas de cada lado de los MA1. Se deben visualizar las 4 cámaras de forma remota ya que su finalidad es realizar diferentes pruebas / validaciones de los contenidos a mostrar en tren por ese motivo, deben permitir visualizar con claridad el contenido de dichas pantallas, su contenido, lectura de textos e iconos, etc. Estos elementos son adicionales a los solicitados en otras secciones del pliego o anexos (p.ej.: apartado videovigilancia, anexo relacionado con garantía, fiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, etc.).

Se debe garantizar que no tendrá lugar condensación en las cámaras.

Las cámaras deberán ser IP, con color y deben poder configurarse remotamente (calidad, contraseñas...)

Los requerimientos técnicos que deben cumplir como mínimo las cámaras son:

<b>Id</b>	<b>Concepto</b>	<b>Requerimiento</b>
VV.CAM01	<b>Identificación</b>	La identificación de la cámara sobreimpresa en la imagen debe ser configurable.
VV.CAM02	<b>Características</b>	<p>Las nuevas cámaras deben incorporar las siguientes características y funcionalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Alta sensibilidad con mínima iluminación (0,3 lux en color).</li> <li>b. Resolución FullHD a 30 imágenes por segundo.</li> <li>c. Soporta de forma simultánea secuencias de vídeo Motion JPEG y H.264.</li> <li>d. Detector de movimiento.</li> <li>e. PoE Plus.</li> </ul>
VV.CAM03	<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• AXIS Video Hosting System (AVHS) • image mirror</li> <li>• Forensic WDR • password protection</li> <li>• Zipstream technology • progressive scanning</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• active tampering alarm</li> <li>• brightness control</li> <li>• color control</li> <li>• contrast control</li> <li>• digest authentication</li> <li>• digital PTZ function</li> <li>• exposure control</li> <li>• exposure zone</li> <li>• guard tour</li> <li>• IP address filtering</li> <li>• sharpness control</li> <li>• white balance</li> <li>• Lightfinder technology</li> <li>• ONVIF (Profile G) support</li> <li>• ONVIF (Profile S) support</li> <li>• Pixel Counter Support</li> <li>• Privacy Mask Function</li> <li>• Traffic Light mode</li> <li>• Video Motion Detection Technology</li> </ul>																														
VV.CAM04	<b>Protocolos de red</b>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">• ARP</td> <td style="width: 33%;">• SFTP</td> <td style="width: 33%;">• DHCP</td> </tr> <tr> <td>• Bonjour</td> <td>• SMB</td> <td>• FTP</td> </tr> <tr> <td>• IGMP</td> <td>• CIFS</td> <td>• HTTP</td> </tr> <tr> <td>• IPv4</td> <td>• SMTP</td> <td>• HTTPS</td> </tr> <tr> <td>• IPv6</td> <td>• SNMP 1</td> <td>• ICMP</td> </tr> <tr> <td>• NTP</td> <td>• SNMP 2c</td> <td>• TCP/IP</td> </tr> <tr> <td>• QOS</td> <td>• SNMP 3</td> <td>• TLS</td> </tr> <tr> <td>• RTCP</td> <td>• SOCKS</td> <td>• UDP/IP</td> </tr> <tr> <td>• RTP</td> <td>• SSH</td> <td>• DDNS</td> </tr> <tr> <td>• RTSP</td> <td>• SSL</td> <td>• UPnP</td> </tr> </table>	• ARP	• SFTP	• DHCP	• Bonjour	• SMB	• FTP	• IGMP	• CIFS	• HTTP	• IPv4	• SMTP	• HTTPS	• IPv6	• SNMP 1	• ICMP	• NTP	• SNMP 2c	• TCP/IP	• QOS	• SNMP 3	• TLS	• RTCP	• SOCKS	• UDP/IP	• RTP	• SSH	• DDNS	• RTSP	• SSL	• UPnP
• ARP	• SFTP	• DHCP																														
• Bonjour	• SMB	• FTP																														
• IGMP	• CIFS	• HTTP																														
• IPv4	• SMTP	• HTTPS																														
• IPv6	• SNMP 1	• ICMP																														
• NTP	• SNMP 2c	• TCP/IP																														
• QOS	• SNMP 3	• TLS																														
• RTCP	• SOCKS	• UDP/IP																														
• RTP	• SSH	• DDNS																														
• RTSP	• SSL	• UPnP																														
VV.CAM.AMB01	<b>Temperatura</b>	• -40ºC 60ºC																														
VV.CAM.AMB02	<b>Humedad</b>	• 10 – 100%																														

<b>VV.CAM.NOR01</b>	<b>Normativa y estándares</b>	• AS/NZS CISPR 32 Class A	• ECE-R10 Rev.5 • IEC 60068-2-78	• IP67
		• EAC	• IEC 60068-2-78	• KCC KN32 Class A
		• EN 61000-6-2	• IEC 60721-3-5 Class 5M3	• KN35
		• EN 61373	• IEC 61373	• NEMA250 Type 4X
		• EN 62262 IK08	• IEC 62236-4	• RCM
		• EN55024	• IEC 62262 IK08	• VCCI Class A
		• FCC Part 15 B Class A	• IEC/EN 60529	• EN 50121-3-2
		• ICES-003 Class A	• IEC/EN/UL 62368-1	• EN 50121-4
		• IEC 60068-2-1	• IEEE 802.3af	• EN 50155
		• IEC 60068-2-2	• IEEE 802.3at	• EN 50498
		• IEC 60068-2-27	• IP66	• EN 55032 Class A
		• IEC 60068-2-64	• EN 45545	• EN 61000-6-1

#### *Requisitos cámara video vigilancia*

El Adjudicatario deberá entregar a TMB Área de Tecnología:

- Tras 5 meses (20 semanas) de la firma del contrato:
  - La documentación básica del equipo (datasheet, esquema eléctrico básico necesario y funcionalidades básicas).
- Tras 8 meses (32 semanas) después de la firma del contrato:
  - Documentación completa.

#### 2.13.10 Video difusión

Como se ha dicho en apartados anteriores, la CPU multipropósito facilitada por el Adjudicatario, deberá llevar implementado el software base del sistema de video vídeo difusión que facilitará FMB.

La función del sistema de video difusión será la de:

- Difundir las informaciones al pasajero 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 de video difusión debe soportar tanto la operación local (con personal de conducción) como la operación remota (ya sea con personal de conducción o sin él). Debe ser seleccionable si se opera de una forma o de otra. En cualquier caso, las centrales de video difusión son las mismas en ambos casos, variando si acaso únicamente la interfaz de operación y gestión.

El sistema y sus componentes (p.ej.: TFTs) deben comunicarse entre sí a través de la red Ethernet embarcada multiservicio. 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 TMB que se basa en una API MQTT y REST con estructura de datos en JSON.

Será responsabilidad del Adjudicatario realizar de manera coordinada con TMB las pruebas estáticas y dinámicas del sistema (incluyendo preparación de documentación y realización de dichas pruebas con la aprobación y supervisión de TMB, etc.). Todas las pruebas que sean posibles se realizarán de manera remota con TMB. 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.

#### 2.13.10.1 Software de video difusión

FMB facilitará al Adjudicatario el software base a integrar en la CPU multipropósito desarrollado por un tercer proveedor que hará de centralita de video difusión que incluye funcionalidades básicas acortadas por TMB.

El software que entregará FMB, tras 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 TMB considere oportunos respecto del software de video difusión central y del software de pantallas que les suministrará TMB. Queda bajo la responsabilidad del Adjudicatario realizar aquellas modificación o ampliación de funcionalidades que sean necesarias en el software de video difusión para cumplir con los requerimientos del presente pliego y su integración con el resto de los elementos del tren o los entornos centrales. Cualquier modificación 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 personal de conducción puede activar mensajes pregrabados en el tren mediante la introducción del código del mensaje o' pulsación de botón dedicado (p.ej. despláicense 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.
- La información de servicio y otros contenidos se deben poder segmentar a partir de información del tren.
- 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 TMB.
- 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/TMB 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, que se han citado en el apartado “modelo de datos”. Debe permitir como mínimo implementar todas las funcionalidades, plantillas y contenidos descritos en los anexos ‘Funcional\_Pantalles\_Videodifusio\_nous\_trens\_2025\_v1’ y ‘21-538-ANUAL\_PantallesVideodifusió-Trens’ 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 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 personal de conducción. El sistema de video difusión publicará esta información a través del protocolo siguiendo el modelo de datos de TMB que se basa en MQTT y REST con estructura de datos en JSON. No obstante, la centralita de video difusión se reserva el derecho de poder publicar cierta información en otro protocolo, si así TMB lo considera.
- 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 si debe permitirlo.

FMB entregará la siguiente documentación al Adjudicatario:

- A partir de los 5 meses (20 semanas) de la firma del contrato:
  - Documentación básica del software de video difusión al pasaje
- A partir de los 12 meses (48 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.

#### 2.13.10.2 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 pasajero.

El Adjudicatario será responsable de la adquisición, configuración, implantación y validación de dichos equipos en el tren. Los trabajos anteriores deberán ser pactados con el área de tecnología de TMB y ser compatibles con el software de video difusión central y de las pantallas de TMB. 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 se especifican en la siguiente tabla:

ID	Concepto	Requerimiento
VID.PANT.VI01	Ubicación	<p>Se instalará 1 pantalla encima de todas las puertas. Quedarán integradas dentro del revestimiento interior del tren y todas ellas tendrán protección antivandálica.</p> <p>Las pantallas deberán quedar enrasadas con la capota superior de la puerta sin sobresalir del hueco de instalación.</p>
VID.PANT.VI02	General	<p>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</p>

		pasajeros. Dichas especificaciones técnicas y características se definirán en la fase de proyecto y deberán ser aprobadas por FMB.
	Funcionamiento	Funcionamiento 24X7. Todos sus componentes deben ser de grado industrial.
<b>VID.PANT.VI03</b>	<b>Tipo TFT</b>	TFT tipo LCD con retroiluminación Led y con panel de gama industrial, no de gama consumer.
<b>VID.PANT.VI04</b>	<b>Display</b>	Área activa mínima 92 cm de ancho por 13,9 cm de alto ±1cm, 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.
	Envolvente	El LCD deberá de estar en un envolvente para proteger toda la electrónica y evitar entrada de polvo.
	Resolución	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 $\geq 170(H)$ , $170(V)$
	Profundidad de color	Mínimo 16M de colores
	Antireflejo	Las pantallas 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
	Suministro	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	IP 65 frontal pantalla
	Protección	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.
	Protección	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 antiamarilleo y anti-oscurecimiento. No amarilleará ni oscurecerá más de un 2% en 10 años.
	Protección	La protección de la parte visual 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.

	LEDs	La pantalla deberá tener LEDs que permitan conocer su estado (energizada, estado ok/error, etc.)
<b>VID.PANT.VI05</b>	Start up	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 TMB, escondiendo el proceso de arranque de la pantalla de cara al cliente.
<b>VID.PANT.VI06</b>	Freeze	Disponer de freeze timeout
<b>VID.PANT.VI07</b>	CPU	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
<b>VID.PANT.VI08</b>	Conexión	<p>El monitor debe conectarse a la red Ethernet embarcada mediante conexión de 10/100Mbps a través de un conector M12. También se permitirá la replicar del flujo de datos mediante Daisy Chain y conector M12.</p> <p>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.</p>
<b>VID.PANT.VI09</b>	Condiciones ambientales	Debe permitir temperaturas de operación y almacenamiento de -20°C ~ 60°C
<b>VID.PANT.VI010</b>	Condiciones ambientales	Soportar una humedad relativa del 10 al 90% (non-condensing)
<b>VID.PANT.VI11</b>	Consumo	La pantalla deberá tener como máximo los siguientes consumos:

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio: 30W</li> <li>• Máximo brillo: 50W</li> </ul>
<b>VID.PANT.VI12</b>	Operativa en remoto	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.
<b>VID.PANT.VI13</b>	Instalación/Mantenimiento	Las pantallas deberán ser Plug&Play, con detección autodiscovery
<b>VID.PANT.VI14</b>	Actualizaciones	Deberán permitir realizar su actualización de manera remota y desasistida
<b>VID.PANT.VI15</b>	Browser	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.
<b>VID.PANT.VI16</b>	Web standard	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HTML5</li> <li>• XHTML</li> <li>• CSS2</li> <li>• CSS3</li> <li>• Javascript</li> <li>• XMLHttpRequest</li> <li>• XML</li> <li>• SVG</li> <li>• WebSockets</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Progressive web app</li> <li>• React</li> </ul>
<b>VID.PANT.VI17</b>	Streaming video	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RTP/AVP</li> <li>• RTSP</li> <li>• SAP</li> <li>• SDP</li> </ul>
<b>VID.PANT.VI18</b>	Formato video	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPEG4</li> <li>• H.264</li> <li>• H.265</li> <li>• MP4</li> <li>• AVI</li> <li>• GIF</li> </ul> <p>En profiles actuales y compatibles con el gestor de video central de TMB (Sistema MouTV).</p>
<b>VID.PANT.VI19</b>	Otros protocolos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• XML-RCP</li> <li>• HTTPS</li> <li>• SFTP</li> </ul>
<b>VID.PANT.VI20</b>	Características	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.

<b>VID.PANT.VI21</b>	Protocolos	Se debe poder configurar por DHCP, por IP y poder modificar los parámetros (Hostname, IP, Mask, Gateway, DNS, Web Port, etc.).
<b>VID.PANT.VI22</b>	Fecha y hora	Debe ser capaz de sincronizar la fecha y hora mediante NTP.
<b>VID.PANT.VI23</b>	Monitorización	Las pantallas deben aceptar administración vía SNMP para poder realizar la monitorización de su estado y alarmas.
<b>VID.PANT.VI24</b>	Gestión y evolución	<p>Se debe proporcionar a TMB las herramientas para poder evolucionar, actualizar, modificar, configurar, gestionar y operar las pantallas incluyendo su sistema operativo y la instalación de Software. El proveedor debe entregar todas las herramientas, código fuente, documentación, etc. necesario para realizar las tareas anteriores.</p> <p>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 las pantallas/tren.</p>
<b>VID.PANT.VI25</b>	Normativa y estándares	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Marcado CE</li> <li>○ EN50155</li> <li>○ EMC: EN55022</li> <li>○ IEC 62368-1</li> <li>○ EN61373 (Vibraciones)</li> <li>○ EN50121-3-2(compatibilidad electromagnética)</li> <li>○ EN45545-2 (Fire protection)</li> <li>○ IP65 frontal</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ IP40 parte trasera (incluye carcasa/envolvente de protección de la pantalla)</li> <li>○ Environmental testing</li> <li>○ EN 60068-2-1</li> <li>○ EN 60068-2-2</li> <li>○ EN 60068-2-30</li> </ul>
<b>VID.PANT.VI27</b>	Imagen	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.
<b>VID.PANT.VI29</b>	Sensor luz ambiente	Las pantallas dispondrán de un sensor de luz ambiente que regule la luminosidad de las pantallas, adaptándose a las necesidades de visualización del entorno.
<b>VID.PANT.VI31</b>	Funcionalidades	Debe permitir como mínimo implementar todas las funcionalidades, plantillas y contenidos descritos en los anexos 'Funcional_Pantalles_Videodifusio_nous_trens_2025_v1' y '21-538-MANUAL_PantallesVideodifusió-Trens' 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 proyecto se acabará de definir.
<b>VID.PANT.VI32</b>	Cableado y bit rate	El cableado a instalar debe permitir el envío de fichero y stream de video de alta calidad sin que afecte a su visualización en online en las pantallas.  Bit rate suficiente para calidad Full HD para cada grupo de pantallas (grupo multicast).

*Requisitos pantallas información al viajero video difusión*

Doce (12) meses tras formalización del contrato el Adjudicatario hará entrega de 4 pantallas completas para pruebas en FMB y 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.).

**2.13.10.3 Software pantallas video información**

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 TMB considere oportunos. Cualquier modificación del equipo y/o software deberán ser acordadas y aprobadas previamente por el área de tecnología de TMB.

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 los documentos anexos 'Funcional\_Pantalles\_Videodifusio\_nous\_trens\_2025\_v1' y '21-538-MANUAL\_PantallesVideodifusió-Trens' 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 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) seria: 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 18 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 18 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 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. No obstante, el Adjudicatario deberá estar disponible para las tareas necesarias de ingeniería, integración y validación previos a dichas entregas y que marque TMB durante el proyecto.

#### 2.13.11 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, mensajes al pasaje de anden, etc.... de una altura aproximada de 15 cm, y fácilmente visible desde el andén. El tipo de pantalla IP y su funcionalidad de dicha pantalla deberá ser validada por FMB en fase de proyecto.

El número de servicio se señalizará, 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.

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.

Los equipos constituyentes de este sistema deberán cumplir con las siguientes normas ferroviarias:

- EN50155 (certificación ferroviaria).
- UNE EN 50121-3-2: Aplicaciones ferroviarias Compatibilidad electromagnética.
- EN 61373: Material rodante, Ensayo de choques y vibraciones.

#### 2.13.12 Contador de personas

Los trenes irán provistos de un contador de personas por coche de tren.

El sistema proporcionará, en tiempo real, la ocupación de cada coche, diferenciando entre personas sentadas, personas de pie y ocupación de los espacios reservados para usuarios de sillas de ruedas.

La detección de personas usuarias de silla de ruedas deberá realizarse de forma automática, sin intervención del pasajero, e identificando de forma unívoca la presencia de una silla de ruedas frente a otros objetos o elementos similares (bicicletas, carritos, etc.).

El sistema tendrá protección antivandálica y estará integrado en el revestimiento interior de caja.

La precisión del sistema deberá de 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%. El Adjudicatario entregará 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 de 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. El sistema informático comparará el resultado obtenido por estos dos métodos y en caso de incongruencia informará al sistema informático de la incongruencia. En fase de proyecto de definirá como tratar esta discrepancia que mensaje informar al personal de conducción.

Se publicará siguiendo el modelo de datos de TMB que se basa en API MQTT y REST con estructura de datos en JSON la información relacionada con el contador de personas para que cualquier sistema que esté conectado a la red Ethernet embarcada pueda suscribirse, así como su posible integración en los sistemas corporativos de 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, ultima para, próxima parada, etc.), etc.
- Información de estado, monitorización y diagnostico (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 proyecto y será necesaria la aprobación de TMB.

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 proyecto 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 de estar provisto de un software que permita monitorear desde el CCM la información en tiempo real, proporcionando información como:

- Número de pasajeros 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 (initialmente 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 de 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 personal de conducción.

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.

#### 2.13.13 Localización de personas embarcadas (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. Se debe aportar un estudio de cobertura para analizar el número de Beacons a instalar, incluso en el peor escenario (máxima ocupación de viajeros). A priori se ha definido como mínimo instalar 3 Beacons por tren: uno en cada testera y el tercero en el coche central o “Remolque”. Pero, se podrán instalar más Beacons por tren si es necesario según estudio de cobertura.

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 TMB.

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: [https://accent-systems.com/wp-content/uploads/iBKS\\_Plus\\_datasheet\\_rev4.pdf](https://accent-systems.com/wp-content/uploads/iBKS_Plus_datasheet_rev4.pdf))
- 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 TMB: 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:
  - o Configuración de los beacons Bluetooth según los parámetros definidos por TMB.
- Requerimientos Adicionales:
  - o Garantizar la correcta integración de los beacons con los sistemas de localización interior existentes de TMB.
  - o Proporcionar documentación detallada de la instalación y configuración de los beacons.

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 TMB.
- Ubicación de los Beacons: La ubicación exacta de cada beacon dentro del tren debe ser pactada y acordada con FMB.
- Inventario y Validación: Los beacons instalados a bordo del tren deberán ser inventariados, fotografiados y validados por el Adjudicatario.
- Garantía y Mantenimiento:
  - o La garantía de los beacons debe ser de 3 años.
  - o La batería de los beacons tendrá una duración mínima de 7 años.

El Adjudicatario deberá incluir la validación de los Beacons del tren en su plan de validación.

## 2.14 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.

#### 2.14.1 ATP-ATO L2

##### 2.14.1.1 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:

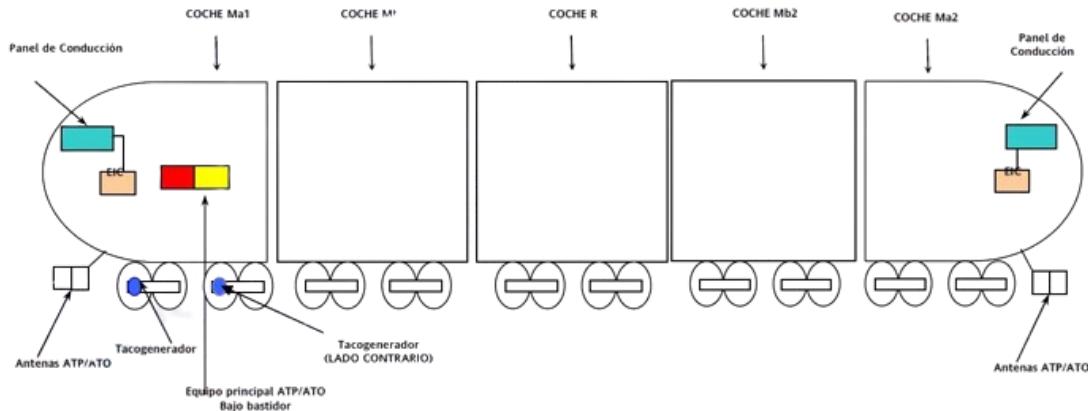
- ATP (Automatic Train Protection): Garantiza la seguridad del tren.
- ATO (Automatic Train Operation): Automatiza la conducción bajo supervisión del ATP.

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.

#### 2.14.1.2 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 condensar el ATP/ATO.
- EIC (Equipo Interface Conductor): Interfaz entre conductor y sistema TBS. Gestiona alarmas, indicadores y comandos de control.
- Pilotos Azules Laterales: Indican condensación del sistema ATP/ATO por uso de la llave especial.

#### 2.14.1.3 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  $\pm 1$  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.

#### 2.14.1.4 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

#### 2.14.1.5 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.

#### 2.14.1.6 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..

### 2.14.2 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.

#### 2.14.2.1 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.

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 autodiagnosis 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).

El equipamiento embarcado será el definido por el AlfésT On-Board de SIEMENS, como mínimo:

- 2 antenas de comunicaciones CBTC.
- 2 canales/switchs de comunicaciones.
- 2 CPU (Unidad Central de Proceso, por sus siglas en inglés).
- 2 lectores de etiquetas.
- Sistema de odometría (tacómetros, acelerómetros y/o doppler radar).
- 2 HMI (Interfaz Hombre-Máquina) pantalla ubicada en el pupitre de conducción.
- El Plan de Mantenimiento del equipamiento embarcado deberá ajustarse a las periodicidades que TMB tiene marcadas para los trenes (60 días, 1 año, 2 años, 4 años y 6 años).
- 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.

#### 2.14.2.2 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.

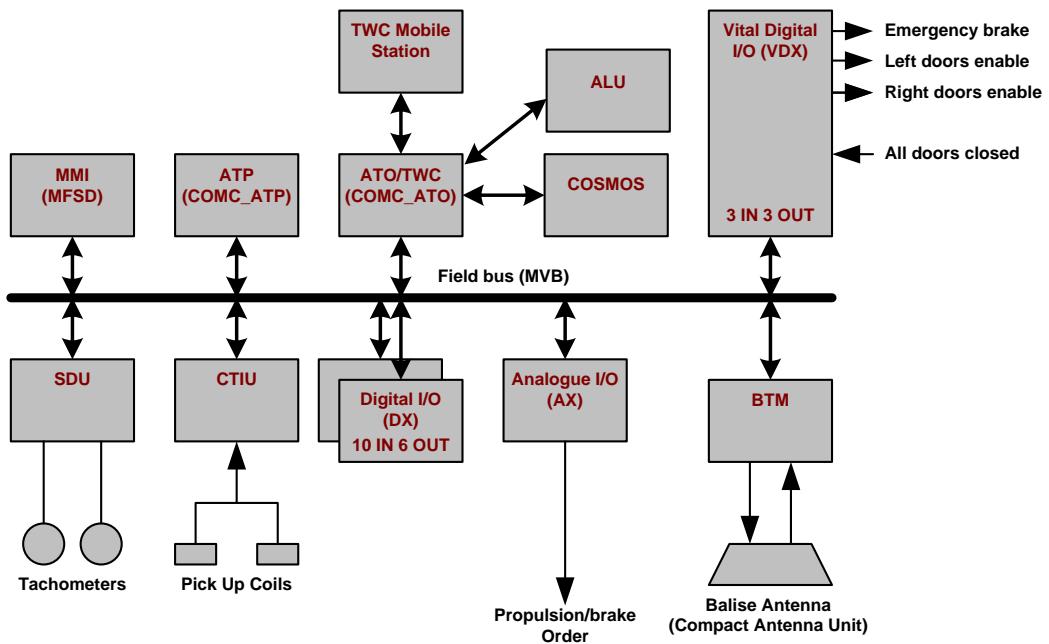
#### 2.14.2.3 Especificaciones Espacios Reserva

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.

#### 2.14.3 ATP-ATO L1/L3

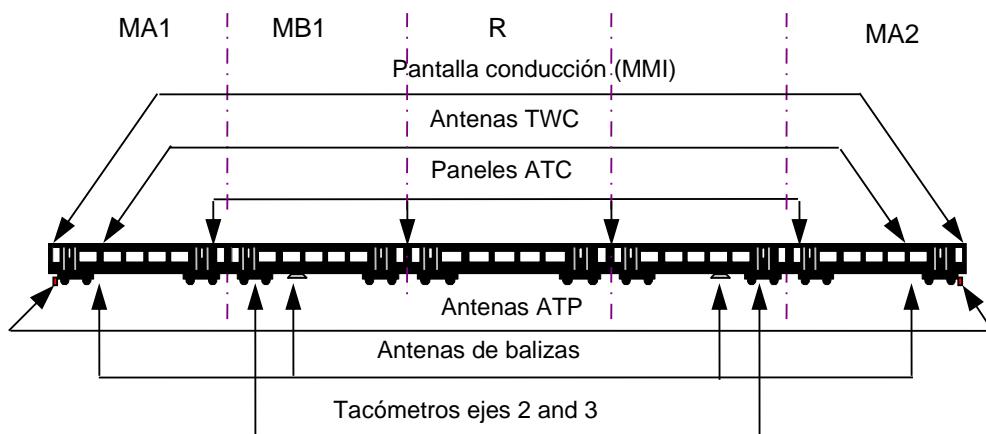
En las líneas 1 y 3 el sistema de señalización es el sistema ATP-ATO BOMBARDIER EBICAB 800.(GoA2).

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 rebasar 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:

- bips cada 2 segundos por exceso de velocidad.
- 1 bip corto como primer aviso.
- bips cortos como segundo aviso.
- bip continuo 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, 2, 3 y 4 del Metro de Barcelona, con una arquitectura robusta, múltiples redundancias y mecanismos de supervisión continua.

El nuevo tren deberá adaptarse para la funcionalidad ATB de la señalización.

#### 2.14.4 Tren – Stop

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.

En todos los trenes se deberá implementar un sistema Tren-Stop compatible con las señales emitidas por las balizas SEPSA de las líneas a los que van destinados. Este sistema está concebido como una protección puntual universal para todas las líneas.

FMB facilitará al Adjudicatario únicamente los equipos hardware de Tren Stop a instalar en L2 para 22 trenes. El Adjudicatario suministrará los equipos necesarios para el resto de trenes de L2 y L4 (7 trenes) y de los lotes 2 y 3. 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 del 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.

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 el equipo deberá proporcionar, entre otras posibles, las siguientes funciones:

- Protección antirrebate 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 existe 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 pulsadores de bypass utilizados en el tren.

Dispondrá de un pulsador de rearne de tal manera que se pueda efectuar dicho rearne 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 rearne 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 rearne, 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 USB o ETHERNET 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 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 comuta 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 rearne 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.

#### 2.14.5 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 25Km/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 30Km/h; el tren aplicará frenado de emergencia.
- El tren volverá al estado inicial al situarse la velocidad en un valor por debajo de 25Km/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 SISTEMA DE TELEMONITORITZACIÓ I TELECOMANDAMENT DE TRENS

### 2.15.1 INTRODUCCIÓ

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.

Por todo ello, es imprescindible que el diseño y la implementación del sistema de telemotorización 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 telemotorización 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 diagnosis 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-information 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 de 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 reservados (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.

• **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 deertura 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 (IHM) y alarmas e información de mantenimiento de cada equipo: estado de elementos del puesto de conducción (llave de gobierno, manipulador), elementos de emergencia/seuridad 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.
  - Variables específicas para CBM:
    - 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.

#### 2.15.2 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.

##### 2.15.2.1 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:

#### 2.15.2.2 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.

#### 2.15.2.3 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 (CO<sub>2</sub>): Precisión de  $\pm 50$  ppm, frecuencia de muestreo de 1 Hz.
- **Confort acústico:**
  - Nivel de ruido (dBA): Precisión de  $\pm 1$  dBA, frecuencia de muestreo de 10 Hz.
- **Iluminación:**
  - Nivel de luz (lux): Precisión de  $\pm 10$  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.

#### 2.15.3 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 más estrictos de la norma de Ciberseguridad ferroviaria.

#### 2.15.4 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.

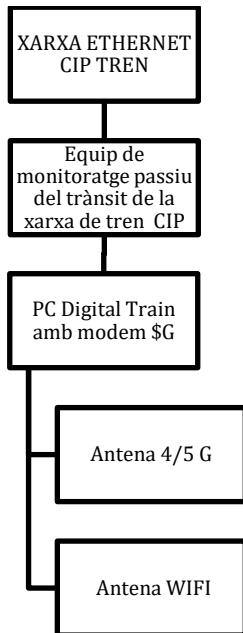
Para su operativa, Digital Tren utiliza datos procedentes de:

- 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.

#### 2.16 INTEGRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DIGITAL TRAIN EN EL TREN Y EN SU RED DE COMUNICACIONES

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:



#### 2.16.1 Equipo de monitorización pasivo del tráfico de la red de tren CIP

Con la finalidad de integrar el sistema Digital Train de FMB en los trenes objeto de este pliego, el adjudicatario deberá suministrar e instalar un dispositivo de monitorización pasiva de la red Ethernet embarcada (tipo CIP), 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 CIP, 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.

El dispositivo 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 CIP 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 CIP.

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

#### 2.16.2 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.

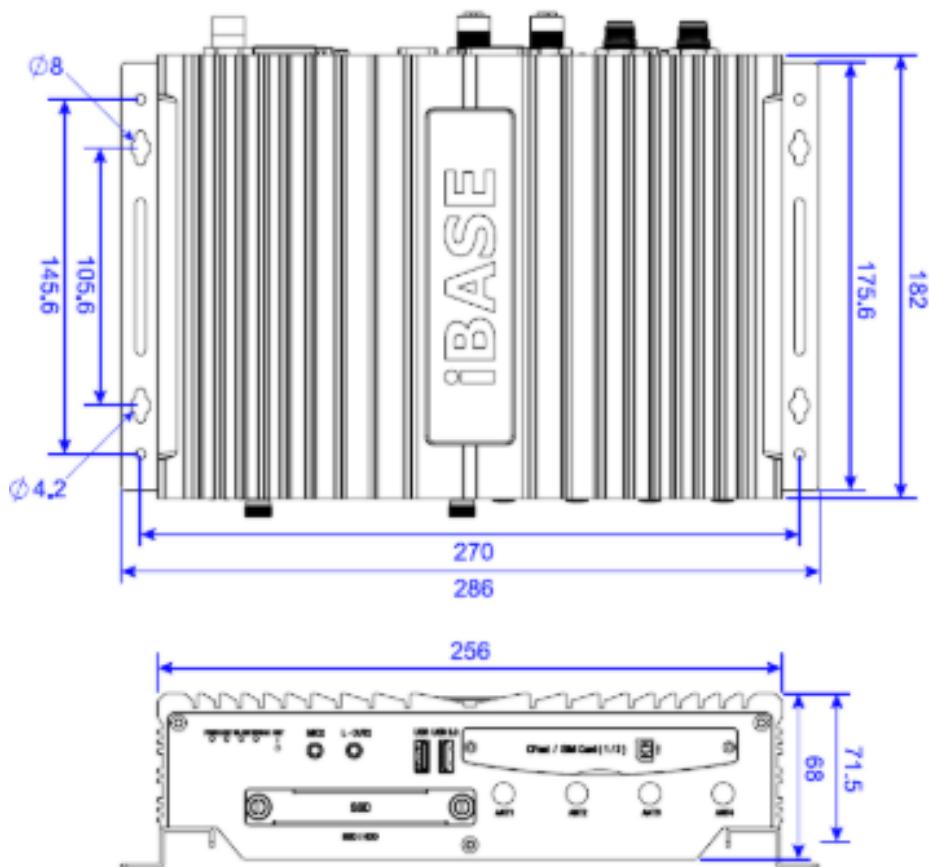
El adjudicatario deberá elaborar el correspondiente proyecto y diseño global de implementación, previamente a la instalación, asegurando el cumplimiento de los requisitos que se indican a continuación para la correcta instalación de los equipos y accesorios (cableado, soportes, etc.) necesarios para 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:

- El equipo de monitorización pasivo del tráfico de la red CIP, descrito el apartado anterior, que será suministrado por el adjudicatario. El espacio 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.

- 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 pasivo del tráfico de la red CIP de las características adecuadas para el equipo que se montará.
- 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:



### 2.16.3 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

### 2.16.4 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 (Train Communication Network).

### 2.16.5 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.
- Toda la información publicada por los diferentes sistemas embarcados en la red de comunicaciones del tren.
- 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.

#### 2.16.6 Obligaciones de integración y coordinación

El adjudicatario deberá llevar a cabo la integración técnica efectiva de todos los datos del bus de tren 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.

#### 2.16.7 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.

### 2.17 TRENES AUSCULTADORES

FMB utiliza trenes específicos, denominados "Auscultadores", para la monitorización continuada del estado de la infraestructura. Estos trenes, basados en unidades convencionales de cada línea, están 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 el suministro de **dos (2) unidades para lote 1 (no se deberán entregar antes del tren 15 de salida de fábrica)** de estos trenes con los equipos 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.

## 2.17.1 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 VM Rail 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-Trens2025\_DGIN-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 I 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-Trens2025\_DGIN-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-Trens2025\_DGIN-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-Trens2025\_DGIN-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-Trens2025\_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.

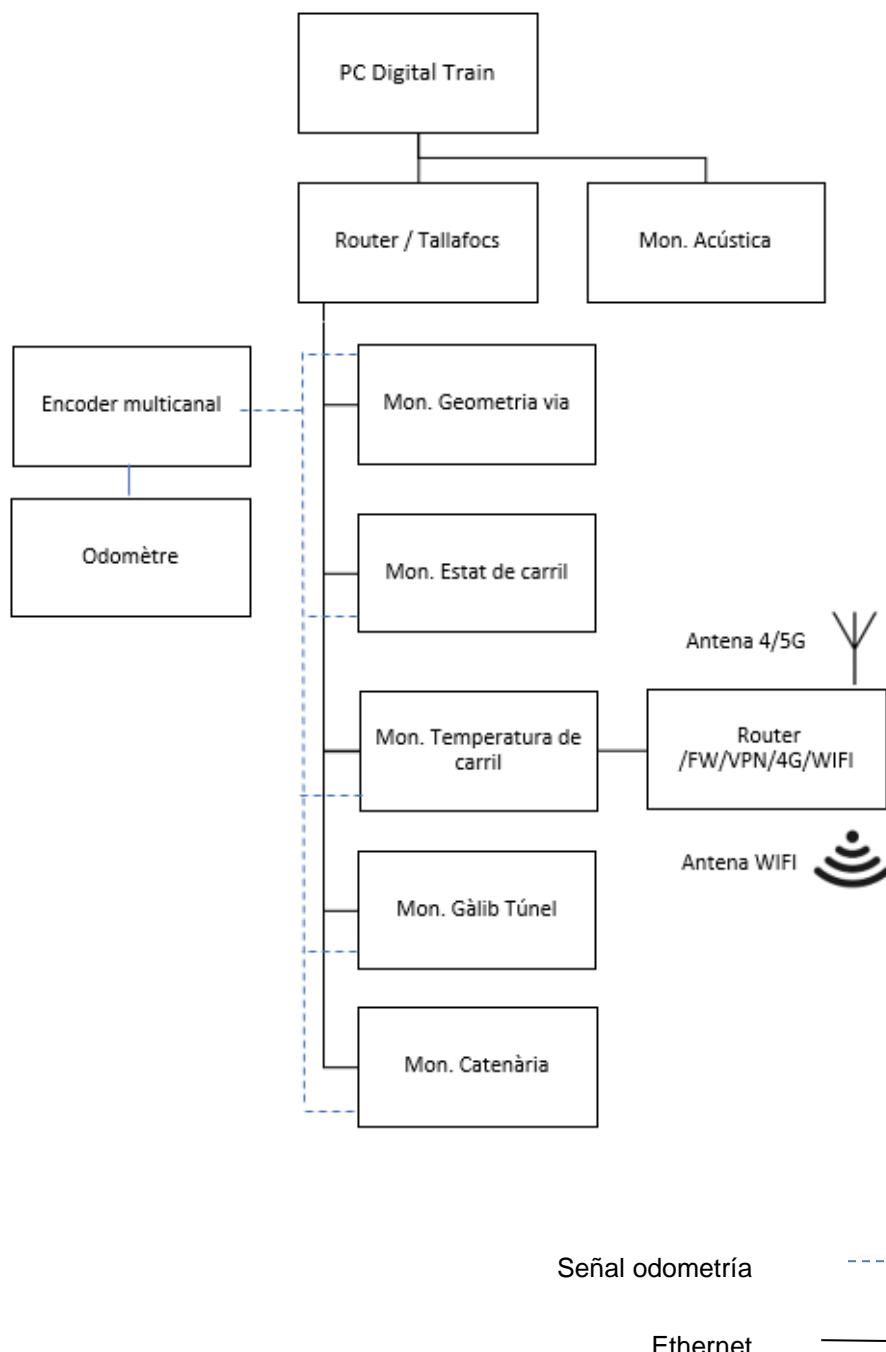
- **Sistema de inspección y medición de la catenaria ferroviaria.** FMB instala en sus trenes auscultadores un sistema de inspección y medición de la catenaria ferroviaria como el descrito en el anexo correspondiente (*PPT-Trens2025\_DIGIN-Annexos*). Así, el Adjudicatario suministrará e instalará, en cada uno de estos trenes, un equipo de las mismas características funcionales y técnicas que allí se detallan.
- **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 futura instalación del servidor en la zona de pasaje, y la estructura de soporte bajo bastidor del tren, con espacio destinado al montaje del sistema de captación de imágenes del carril. 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.
- **Router /FW/VPN/4G/WIFI.** Este equipo actuará como router industrial multifuncional certificado para uso ferroviario, diseñado para centralizar y proteger 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 móvil, 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°C.
    - o Conectividad móvil: doble módem LTE Cat 6 o superior con mínimo 4 ranuras SIM y gestión de failover y load balancing.
    - o Conectividad Wi-Fi (opcional): 802.11ac dual-banda con MIMO, 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 Puertos serie: mínimo 2 (RS-232, RS-422 o RS-485, configurables).
  - o Almacenamiento local: flash interna o eMMC de mínimo 8 GB.
  - 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 y GNSS, 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 y asignar rutas, políticas de firewall o VPN específicas.
- 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.
- **Hodómetro y equipo de sincronía.** Se incluye un hodómetro 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:
  - o Hasta 8 canales independientes por pulsos/cuadratura.
  - o Resolución  $\geq 3000$  ppv por canal.
  - o Salidas robustas (HTL, RS-422, push-pull) compatibles con múltiples receptores.
  - o Cumplimiento de normas ferroviarias (EN 50155, IEC 61373).

Se aceptarán otras soluciones equivalentes, siempre que ofrezcan multicanalidad, alta resolución y robustez ferroviaria probada.

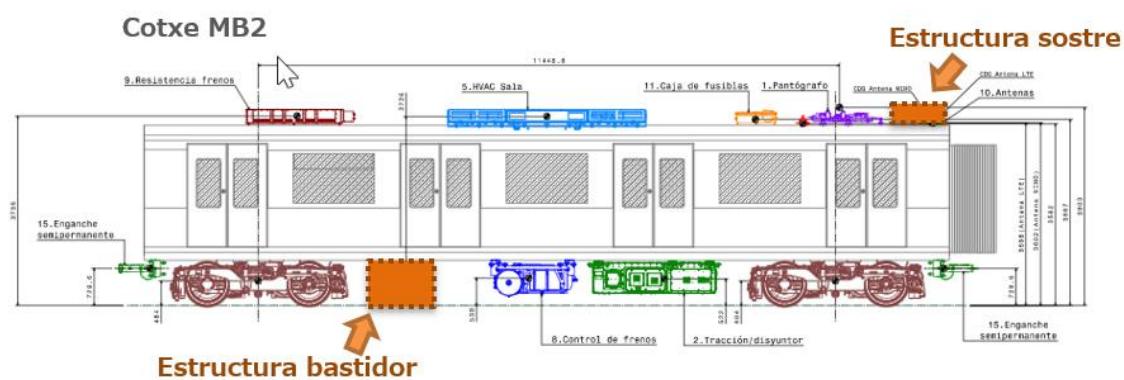
A continuación, se muestra el diagrama de bloques de la arquitectura a añadir a la del resto de trenes para incluir los sistemas auscultadores.



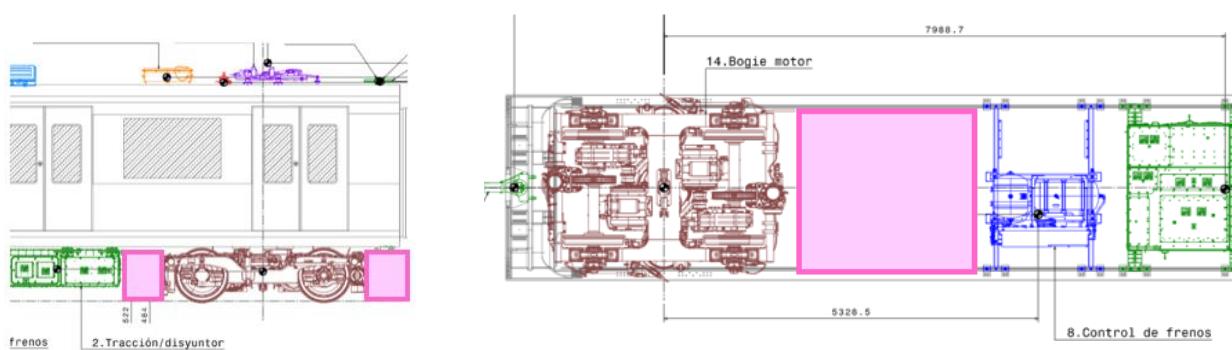
El tren auscultador se basa en un concepto modular y escalable, con soporte estructural común para diferentes equipos y sistemas embarcados, minimizando interfaces mecánicas con el material rodante y facilitando el mantenimiento y la escalabilidad futura. Inicialmente, se prevé la necesidad de sólo tres puntos principales de instalación:

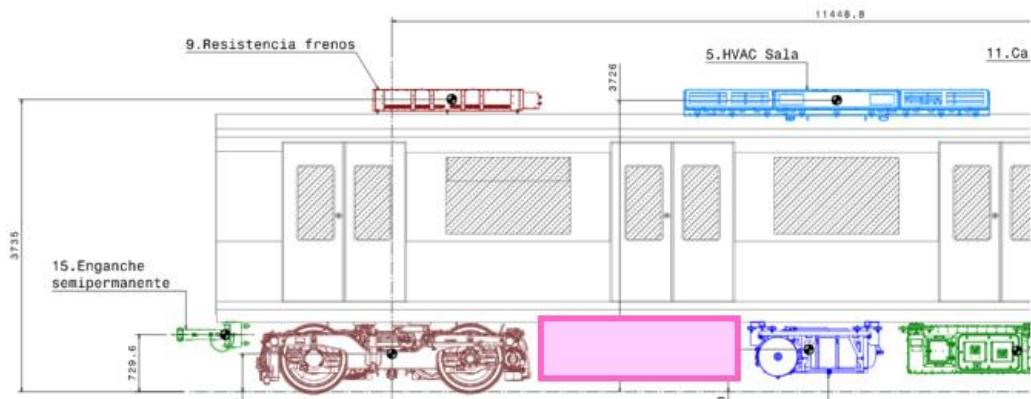
- Una estructura dedicada a los equipos de auscultación de geométrica de vía debajo del bastidor, preferiblemente al coche remolque o MB2.

- Una estructura de auscultación de catenaria, en el techo, preferiblemente en el coche MB2
- 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 remolque o MB2 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.

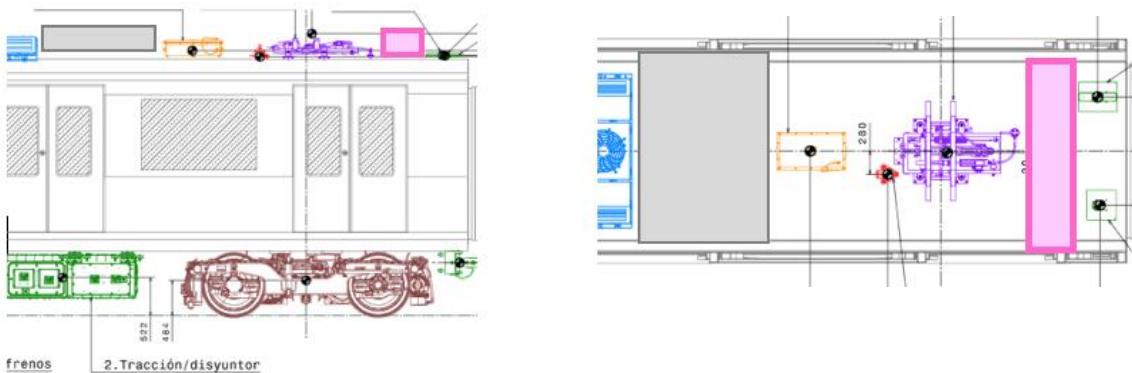


Espacios inferiores propuestos por estructuras de soporte de los dispositivos auscultadores de Geometría de vía, temperatura y estado de carril y micrófonos para la monitorización acústica en el coche MB2:

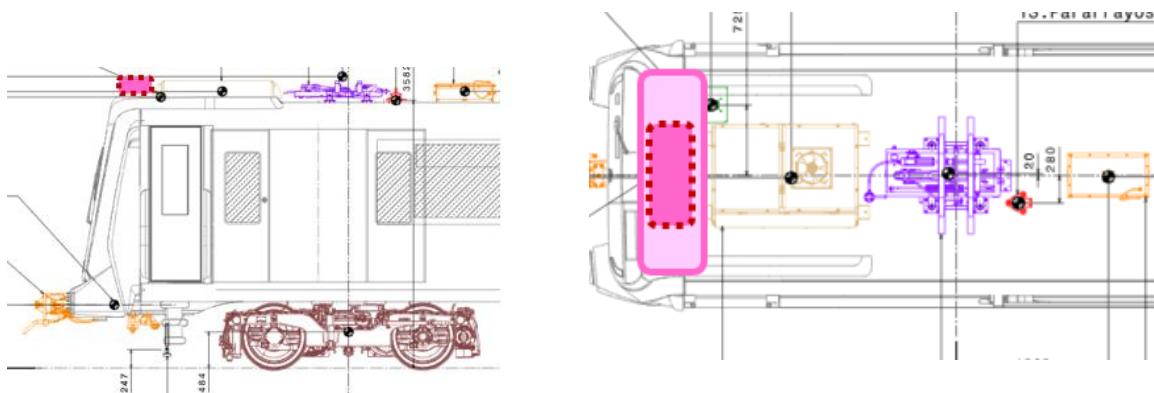




Espacios en techo propuestos por estructuras de soporte de los dispositivos auscultadores en el coche MB2: de inspección y medición de la catenaria ferroviaria



Espacios en techo propuestos por estructuras de soporte de los dispositivos auscultadores en el coche de testera MA1: Sistema de medida de gálibo de túnel



También se reservarán espacios en armarios en la zona de pasaje para incorporar los racks para alojar los equipos de cabina.

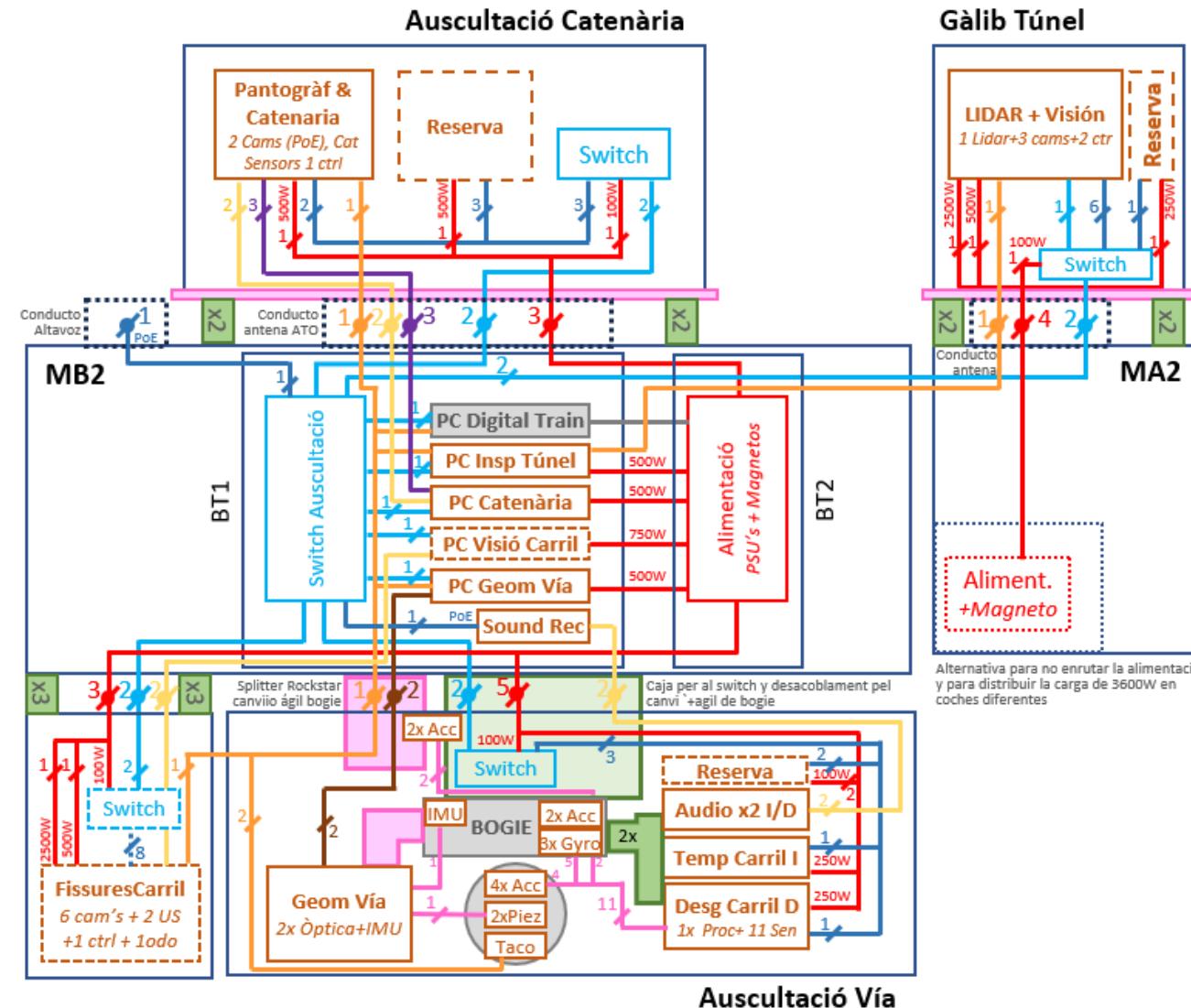
Forma parte de esta licitación el suministro e instalación de los cableados de alimentación, Ethernet, señal de odometría, así como los conectores, switches, protecciones, adaptadores de conectividad y otros elementos necesarios para garantizar un diseño modular, escalable y fácilmente mantenable.

Este diseño podrá variar en función de los equipos que proponga el Adjudicatario para la realización de las funciones de auscultación.

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.

- Cable alimentació
- Cable ethernet 100Mbps
- Cable ethernet 1Gbps
- Cable Coaxial
- Cable 4 fils 4mm
- Cable TT02 I/D
- Cable TT01
- Cable intern propi sistema auscultación
- interfaz mecánica
- Soporteria

- Tots els cables d'alimentació encaminats des del quadre d'alimentació:
  - acabaran en connectors M12
  - disposaran de Terra
- Els cables disposaran de protecció amb tub corrugat o similar
- PC Digital Train amb 2 ports ethernet, 1 per xarxa Tren i altre para el Switch Auscultació



## 2.18 TELEMANDOS

Como se ha indicado el tren debe estar preparado para una futura automatización a modo nivel GOA4. Por tanto, una de las cuestiones que a considerar en el diseño del mismo es que deberá disponer de una serie de órdenes telemandadas que se puedan gestionar desde el Centro de Control. Para ello, las únicas modificaciones que se deberán hacer sobre el tren será la integración de los sistemas de comunicación tren-tierra que se definan durante el proyecto de automatización, no debiendo haber ninguna modificación más de hardware o software.

Se deberá presentar en fase de proyecto un estudio que demuestre técnicamente que el tren se podrá telemandar desde el centro de control en un futuro. Los órdenes telemandadas mínimas que deberá considerar en dicho estudio serán los 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 rearne 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 rearne desde el CCM tras la recepción de la orden pertinente desde el CCM.
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.

<b>TELEMANDO</b>	<b>FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN</b>
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

<b>TELEMANDO</b>	<b>FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN</b>
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.

TELEMANDO	FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN
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
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

<b>TELEMANDO</b>	<b>FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN</b>
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.
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.

<b>TELEMANDO</b>	<b>FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN</b>
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.
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

<b>TELEMANDO</b>	<b>FUNCIÓN A REALIZAR POR EL TREN</b>
Petición de megafonía interior+exterior a público+andén desde el CCM.	El operador del CCM podrá realizar en 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 telemundos y de recepción de alarmas	Desde el CCM será posible hacer un test que confirme la disponibilidad de toda la cadena de envío de telemundos y de recepción de alarmas al tren y desde el tren respectivamente
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 telemundo de pruebas, aportado por este, se pueden realizar todos estos telemundos.

### 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 ultimo recursos 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.- Diagnosis: 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 órdenes de trabajo de mantenimiento con la plataforma CBM.

Posterior a la fase de garantía (hasta 10 años posteriores a la entrada en servicio del primer tren):

7.- Mejora y creación de nueva algorítmica (y sensorización adicional y modelización si fuera preciso) para la mejora del mantenimiento basado en CBM, manteniendo el equipo de trabajo creado en la fase de garantía.

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 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. beneficios previstos. La fiabilidad de la sensórica y electrónica de preprocesado tendrá una vida esperada similar a la del tren y calculada 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 adjunta también las variables mínimas a monitorizar:

SISTEMA	VARIABLES A MONITORIZAR
Bogies	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rodamientos caja de grasa (vibraciones).</li> <li>- Rodamientos reductor (vibraciones).</li> <li>- Rodamientos Motores (vibraciones).</li> <li>- Vibraciones estructura bogie.</li> <li>- Temperatura caja de grasa.</li> <li>- Temperatura reductor.</li> <li>- Temperatura motor.</li> </ul>
Suspensiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aceleración en la caja, indicación de confort</li> </ul>
Detección de incendios	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prueba de detectores de humo</li> </ul>
Megafonía	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables de estado y diagnóstico del sistema.</li> </ul>

Sistema de aire acondicionado sala	<ul style="list-style-type: none"><li>- Presiones de alta y baja.</li><li>- Temperatura exterior</li><li>- Temperatura retorno.</li><li>- Tiempo de funcionamiento del compresor</li><li>- Consumo eléctrico del compresor</li><li>- Nivel saturación filtro.</li><li>- Consumo instantáneo de corriente del HVAC completo.</li><li>- Consumo de ventiladores.</li><li>- Temperatura salida del refrigerante del condensador.</li><li>- Temperatura de succión del refrigerante del compresor.</li><li>- Temperatura de descarga del refrigerante del compresor.</li><li>- Humedad del aire mezclado.</li><li>- Humedad del aire suministrado.</li><li>- Posición trampillas aire.</li><li>- Medición CO2.</li></ul>
------------------------------------	--

Sistema de aire acondicionado cabina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presiones de alta y baja.</li> <li>- Temperatura exterior</li> <li>- Temperatura retorno.</li> <li>- Tiempo de funcionamiento del compresor</li> <li>- Consumo eléctrico del compresor</li> <li>- Nivel saturación filtro.</li> <li>- Consumo instantáneo de corriente del HVAC completo.</li> <li>- Consumo de ventiladores.</li> <li>- Temperatura salida del refrigerante del condensador.</li> <li>- Temperatura de succión del refrigerante del compresor.</li> <li>- Temperatura de descarga del refrigerante del compresor.</li> <li>- Humedad del aire mezclado.</li> <li>- Humedad del aire suministrado.</li> <li>- Posición trampillas aire.</li> <li>- Medición CO2.</li> </ul>
Sistemas de puertas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables tarjeta electrónica.</li> <li>- Corriente de motor.</li> <li>- Tensión de motor.</li> <li>- Tiempos de apertura y cierre.</li> </ul>

Moto-compresor de aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión de salida aire.</li> <li>- Caudal.</li> <li>- Temperatura de salida aire.</li> <li>- Horas de funcionamiento.</li> <li>- Ciclo arranque parada.</li> <li>- Consumo eléctrico motor.</li> <li>- Presión diferencial del filtro de entrada.</li> <li>- Temperatura del aire de entrada.</li> </ul>
Secador de aire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grado de humedad.</li> <li>- Presiones.</li> </ul>
Batería	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tensión.</li> <li>- Corriente.</li> <li>- Temperatura.</li> <li>- Estado de carga.</li> </ul>
Cargador de baterías	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables eléctricas.</li> </ul>
Convertidor estático	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables eléctricas.</li> <li>- Variables de autodiagnóstico.</li> </ul>
Electrónica de tracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables de autodiagnóstico</li> </ul>
Electrónica de freno neumático	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Variables de autodiagnóstico.</li> </ul>

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

### 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.

### **3.4 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 interfaces.

### **3.5 DOCUMENTACIÓN**

Se deberá presentar en fase de proyecto:

- Descripción y planificación de implementación del proyecto CBM. Este proyecto deberá durar un mínimo de 10 años desde la recepción provisional del primer tren.

- 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 SIL0, 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.

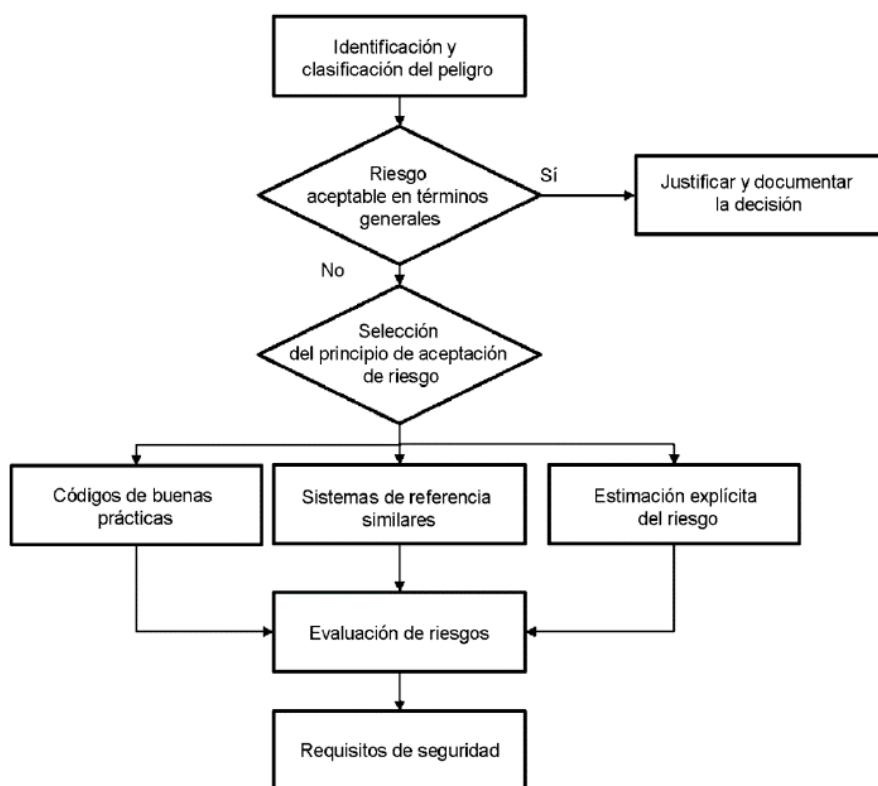


FIGURA 1: PROCESO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

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 0 Km/h)	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 determinad 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
<b>Frecuente</b>	Es probable que ocurra con frecuencia. La incidencia se experimentará frecuentemente.
<b>Probable</b>	Ocurrirá varias veces. Se puede esperar que la incidencia ocurra con frecuencia
<b>Ocasionalmente</b>	Es probable que ocurra varias veces. Se puede esperar que la incidencia ocurra varias veces.
<b>Infrecuente</b>	Es probable que ocurra en algún momento del ciclo de vida del sistema. Puede esperarse razonablemente que ocurra la incidencia.
<b>Improbable</b>	Es poco probable que ocurra, pero es posible. Se puede suponer que la incidencia puede ocurrir de forma excepcional.
<b>Extremadamente improbable</b>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afecta a un gran número de personas y tiene como resultado múltiples víctimas mortales, y/o</li> <li>▪ Daña al entorno de forma extrema.</li> </ul>	Cualquiera de las consecuencias que se describen a continuación para las personas o el entorno

Categoría de gravedad	Consecuencias para las personas o el entorno	Consecuencias para el servicio/bienes materiales
<b>Crítico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afecta a un número muy pequeño de personas y resulta en al menos una víctima mortal, y/o</li> <li>▪ Se produce un gran daño al entorno</li> </ul>	Pérdida de un sistema importante
<b>Marginal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No hay posibilidad de que se produzcan víctimas mortales, solo lesiones graves o leves, y/o</li> <li>▪ Daños menores al entorno</li> </ul>	Daños graves en el sistema o sistemas.
<b>Insignificante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posible lesión leve</li> </ul>	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		
<b>Frecuente</b>	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
<b>Probable</b>	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable

<b>Ocasional</b>	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable
<b>Infrecuente</b>	Despreciable	Tolerable	No deseable	No deseable
<b>Improbable</b>	Despreciable	Despreciable	Tolerable	No deseable
<b>Extremadamente improbable</b>	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Tolerable
	<b>Insignificante</b>	<b>Marginal</b>	<b>Crítico</b>	<b>Catastrófico</b>
<b>Gravedad de un accidente (causado por un peligro)</b>				

*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
<b>Intolerable</b>	El riesgo debe eliminarse
<b>No deseable</b>	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.
<b>Tolerable</b>	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.
<b>Despreciable</b>	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) Descarril 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) Electrocución, 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 a 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 diseño del sistema, 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.

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 donde 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 qué 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 y se inicien 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 tras la modificación 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 3 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 tras la modificación

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

Por la necesidad de abordar la gestión de riesgos de seguridad de la información en el sector ferroviario para el sistema licitado, FMB requiere establecer las condiciones mínimas para satisfacer por el sistema objeto de este pliego, en materia de ciberseguridad. Para cumplir con los requisitos establecidos en el SGSI de FMB y garantizar la prestación de un servicio esencial, el Adjudicatario cumplirá con las exigencias especificadas en el siguiente documento.

El proceso de gestión de la ciberseguridad, para la adquisición de nuevos trenes, deberá cumplir con las normativas y estándares de seguridad:

- Esquema Nacional de Seguridad (ENS)
- Directiva NIS2
- LOPD
- Los sistemas operacionales deberán cumplir con la aplicación de las recomendaciones recopiladas en las Normativas: UNE-EN IEC 62443, EN 50701 particular para el sector ferroviario -o su futura transposición a IEC63452 que ya está en curso- y el Esquema Nacional de Seguridad (ENS – CCN), según la nota técnica NTOTIC\_014 REQUISITOS SEGURIDAD PARA SISTEMAS OPERACIONALES FMB.

Todas las Normas serán consideradas en la versión vigente, en su última publicación a la fecha de adjudicación del contrato.

Este proceso 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 la ciberseguridad en el contexto del proceso del ciclo de vida de la norma EN 50126-1 RAMS.

### 5.1 REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA LA FASE DE DISEÑO E INTEGRACIÓN

El proveedor de la solución deberá nombrar un Responsable de Ciberseguridad (RdC) encargado de liderar y coordinar todas las actividades relacionadas con la ciberseguridad, incluyendo la definición de estrategias, la gestión de riesgos, y la implementación de políticas y procedimientos para proteger tanto el sistema embarcado como la infraestructura.

Dicho RdC será el interlocutor con el responsable de Ciberseguridad de FMB, con quien mantendrá reuniones periódicas para evaluar las propuestas de ciberseguridad, la implementación de mecanismos de seguridad y el seguimiento de su implementación.

El Adjudicatario deberá contemplar, como mínimo, los siguientes requisitos de partida, que pueden verse ampliados tras el análisis de riesgo y la propuesta de arquitectura de seguridad:

1. Cumplimiento de normativas y estándares de seguridad de FMB.
2. Realizar un análisis de riesgos preliminar de ciberseguridad, basándose en MAGERIT / PILAR y en la norma TS50701, según la nota técnica NTIICC\_011\_MAPA DE RIESGOS OT+IICC.

Identificar escenarios de posibles ataques que puedan involucrar o afectar de alguna manera a los sistemas objeto de este pliego.

3. Realizar una propuesta de arquitectura de seguridad inicial identificando soluciones de seguridad que podrían utilizarse 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 e 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.
  - Se deberá garantizar la segregación entre el entorno OT y el entorno IT, para asegurar la seguridad perimetral de la red operacional, a través de un filtrado robusto del tráfico entrante y saliente 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 se requiera 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 para ello. Se deberá 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.
  - No debe permitirse el acceso directo (de mantenimiento) desde las zonas de negocio a las zonas de control sin control mediante un dispositivo de seguridad o similar (por ejemplo, un servidor proxy).
  - El acceso de mantenimiento externo debe agruparse en una zona separada.
4. Realizar un análisis de riesgos pormenorizado 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.
- Previamente, sin disponer del análisis detallado de la solución, el nivel de seguridad mínimo para los sistemas operacionales será el que determine el Comité de Ciberseguridad (como criterio base sería SL3).
- 5. La solución deberá basarse en los principios de: mínimo privilegio, confianza cero y defensa en profundidad.
  - 6. Deberá entregar guías de bastionado de todos los equipos.
  - 7. Deberá presentarse un plan para gestionar la seguridad de la cadena de suministro.
  - 8. La solución propuesta deberá cumplir con el nivel de seguridad requerido durante todo el ciclo de vida del sistema.
  - 9. Gestión de vulnerabilidades y parcheo: Especificar la implementación de un proceso formal para la gestión de vulnerabilidades, que incluya la evaluación regular de riesgos, el parcheo oportuno de vulnerabilidades conocidas y la respuesta a incidentes de seguridad. Indicar cuáles son los SLAs para publicar parches y durante cuánto tiempo se comprometen a generar parches para las versiones entregadas en el proyecto.

10. Protección de datos personales: Si aplica, se deberá 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.
11. Autenticación y control de acceso: Si aplica, el sistema de control deberá integrarse con Directorio Activo OT para poder gestionar cuentas de usuarios (agregar, 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.
12. Cifrado de comunicaciones: Si aplica, se requerirá el uso de cifrado robusto para todas las comunicaciones entre los componentes del sistema, incluyendo las comunicaciones entre trenes y la infraestructura de tierra, así como las comunicaciones internas del sistema. El Adjudicatario deberá especificar qué algoritmos, tamaños de clave, etc. utilizará en cada caso. (El CCN dispone de la guía CCN-STIC 807 para adecuación al ENS que puede ser de referencia).
13. Monitoreo y registro de eventos: Especificar la implementación de herramientas de monitoreo de seguridad y registro de eventos para detectar y registrar actividades sospechosas, así como para facilitar la respuesta a incidentes de seguridad.

Como parte de la solución, se deberá incluir una solución de monitorización industrial en tiempo real que detecte intrusiones (IDS).

Con el fin de poder cubrir la totalidad de los equipos industriales conectados a la red, la gestión de inventario, intrusiones, anomalías, vulnerabilidades CVE y actividades sospechosas que ocurran en las redes de señalización, infraestructura y material rodante, debe realizarse tanto, sobre los elementos y tráfico de los equipos conectados mediante protocolos IP, como sobre los equipos conectados mediante protocolos propietarios del sector ferroviario

La solución debe monitorizar en busca de anomalías o indicadores de ataque las redes de abordo incluyendo la red de control del tren - incluyendo los sistemas de frenos, los controladores de puertas, las HMI o cualquier otro activo que comunique a través de estas redes-. La solución también debe tener capacidades para monitorizar las redes de a bordo auxiliares o de confort, así como el tráfico Tren-Tierra.

La supervisión del tráfico deberá realizarse de forma pasiva, aprendiendo del funcionamiento de la red para alertar de los comportamientos anómalos de la misma. En ningún caso debe transmitir datos a ninguno de los subsistemas de a bordo o de la infraestructura. No debe lanzar consultas a activos ni realizar ningún tipo de escaneo de red activo.

La comunicación entre los colectores de tráfico y el componente central debe estar siempre cifrada utilizando protocolos robustos y reconocidos por la industria

La solución deberá ser on-premise, garantizando la no salida de datos de la organización.

La información obtenida a través de la plataforma pasiva de monitorización industrial en tiempo real deberá poderse enviar al SIEM de TMB (actualmente Splunk).

14. Deberá asegurar que los equipos y aplicaciones clasificadas como críticas generen Logs. Estos deberán ser custodiados en forma segura para evitar su modificación.
15. El diseño deberá asegurar la disponibilidad del sistema en global (redundancia).
16. Deberán efectuarse pruebas FAT de las soluciones de seguridad antes de implementarse.

Si aplica, FMB se reservará la aceptación final de la solución a los resultados de una auditoría de pentesting que deberá presentar el Adjudicatario, pudiéndose dar el caso de requerir certificarse en la norma 62443 4.2.

## 5.2 REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA LA FASE DE SOPORTE Y MANTENIMIENTO

1. Cumplimiento normativo continuo: Asegurar que la solución aportada, el sistema en su conjunto y las operaciones de soporte y mantenimiento sigan cumpliendo con todas las normativas y estándares de seguridad relevantes durante todo el ciclo de vida del producto. El mantenedor del sistema deberá garantizar que la seguridad no se vea degradada por sus actividades.
2. Actualizaciones de seguridad regulares: Se deberá 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. Gestión de parches: Establecer un proceso para la gestión eficiente y oportuna de parches de seguridad, que incluya la evaluación de impacto, la programación de implementación y la verificación de la efectividad de los parches aplicados.

Para la gestión de vulnerabilidades y parches, el Adjudicatario deberá dar visibilidad de sus SLAs para publicar los parches y comprometerse a generar parches para las versiones libradas en el proyecto.

5. Uso de software antivirus, antimalware o EDRs.

Se deberá disponer, para todo el software que se ejecuta en los equipos con antivirus, un inventario explícito de los procesos y directorios que deban ponerse como excepciones del antivirus.

6. Deberá actualizar y mantener planes de continuidad y recuperación ante desastres para asegurar la resiliencia operativa.

7. 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 en el sistema.

8. Auditorías de seguridad regulares: 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.

9. Respaldo y recuperación de datos: Establecer procedimientos para realizar 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.

10. Monitoreo de seguridad continua: Exigir la implementación de sistemas de monitoreo de seguridad continuo, que permitan la detección temprana de actividades sospechosas o anomalías en el sistema y faciliten una respuesta rápida a posibles amenazas. Se deberá establecer un monitoreo continuo de la red para la detección de anomalías. Dichos eventos, serán enviados al SIEM Corporativo de TMB.

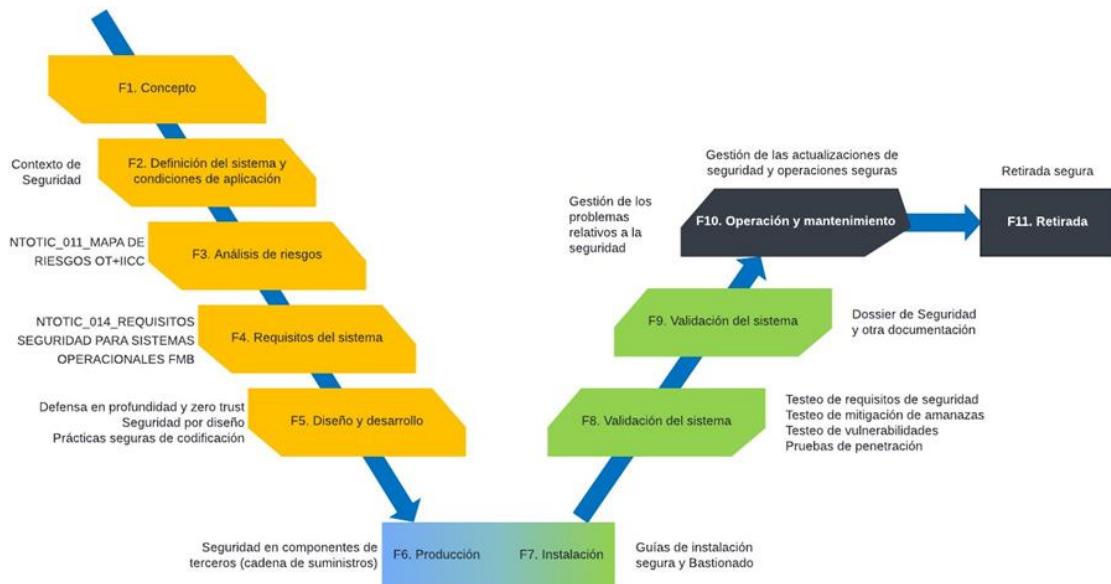
11. Instalación de Firewalls e implementación de reglas basadas en privilegios mínimos.

12. Gestión de accesos y privilegios: Si aplica, 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.

13. Capacitación en seguridad: Continuar proporcionando capacitación en concienciación sobre seguridad al personal involucrado en el soporte y mantenimiento del sistema, para mantener su sensibilización sobre las amenazas de seguridad y las mejores prácticas de seguridad.

14. Evaluación y mejora continua: 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.

15. Se deberá disponer de un entorno de pruebas que permita testear con garantía las actualizaciones de seguridad.



El incumplimiento parcial o total de estos puntos deberá acordarse con el CISO de TMB.

## 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. 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 EN45545 de todos los materiales a los que aplique, describiendo las características respecto a inflamabilidad (clasificación de fuego y humo) y la propagación de humo y/o gases tóxicos o corrosivos.

### 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.
- Permiso de puertas desde el interior/exterior: el motorista del tren dispondrá de mandos que permitan la permisión 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 intervención.

### 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 tensión deben estar contenidos en un conducto o tubo metálico puesto a tierra, a través 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 tripulación.
- A través de conductos para la ventilación, que estén conectados a zonas reservadas a los viajeros o al maquinista.

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 de 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 de ser tales que no supere la temperatura de funcionamiento establecida de los mismos.

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 (Ver “2.2.4.7 Detección de incendios”)
- ”)
  - Con un sistema de alarma para pasajeros accionado por éstos que sirva para informar al motorista o al centro de control (Ver “2.2.4.5 Tiradores de alarma”)
  - ”)

- 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. (Ver apartado “2.2.1.1 Batería”)

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.

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 maquinista. 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. (Ver apartado “6.7 DISPOSITIVO DE EVACUACIÓN ”)

- 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 FRENT 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, carcasa 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 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 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 la Normativa para la Elaboración de Planos y para la Recepción de Información Gráfica incluida en el ANEXO correspondiente.

Cualquier modificación posterior a la entrega del tren que conlleve cambios en los planos deberá reflejarse en una versión actualizada y entregarse a FMB en el plazo máximo de un (1) mes.

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.

- 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:
  - Semicongductores de potencia.
  - Circuitos integrados.
  - Micropresesadores.
  - Convertidores analógico/digital.
  - 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.

A nivel de Ciberseguridad el Adjudicatario deberá entregar la siguiente documentación durante la fase de proyecto:

- Análisis de riesgo preliminar.
- Inventario de activos, según NTOTIC\_012\_DESCRIPCION DE LOS CONCEPTOS DEL LISTADO SuC.
- Arquitectura de seguridad:
  - Diagrama de zonas y conductos
  - Análisis de riesgo detallado para cada zona de seguridad
  - Propósito de la comunicación (Funcionalidades, protocolos...)
  - Matriz de comunicaciones
  - Flujo de datos (origen, destino, nodos...)
  - Reglas FW (comunicación entre diferentes zonas)
- Descripción de contramedidas compensatorias.
- Nivel de seguridad objetivo (SL-T) y nivel de seguridad alcanzado (SL-A).
- Guías de bastionado de los equipos (como Anexo se aportan medidas mínimas de bastionado requerido por el ENS).

- Plan para gestionar la seguridad de la cadena de suministro.
- Gestión de vulnerabilidades y parcheo.
- Así como toda la información requerida en cumplimiento a la normativa vigente en el ámbito de la ciberseguridad.
- Resultados de una auditoría de pentesting.
- Propuesta de plan de mantenimiento y actualización de los activos inventariados del sistema, indicando las operaciones de seguridad y el perfil técnico requerido para su ejecución.
- 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.

## 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 diseño e integración 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 Agentes Formadores 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 telemundo 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 teórico/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 teórico/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 utilajes 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 oferta integrada de Lote 2 y Lote 3 se suministrará 2 cabinas) 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 de generar la inmersión necesaria para que el alumno perciba como real la experiencia formativa en el simulador.

Este puesto debe de 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 de 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.
- Condensación 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, IHM... 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 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 un (1) mes antes de la entrada en servicio.

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 10<sup>3</sup> (relativa)

El tren ofertado deberá cumplir al menos los siguientes requerimientos, según ISO 21106:

- Reciclabilidad: **95%**.
- Recuperabilidad: **98%**.

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>). En un plazo máximo de 1 mes tras la firma del contrato el Adjudicatario deberá entregar dicha lista.

### 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 licitador 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 aquellos 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 de 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 modificación 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. El peso máximo admisible de la unidad completa en tara (AW0) será de:

- Lote 1: Trenes L2 y L4: 155.000 Kg.
- Lote 2: Trenes L1: 161.000 Kg.
- Lote 3: Trenes L3: 155.000 Kg.

Se valorará en la oferta el peso de la unidad completa. Se valorará que el peso del tren ofertado sea menor al peso máximo admisible.

En el peso ofertado y a valorar no estarán incluidos los equipos de aportación FMB descritos en este pliego.

En el reparto de masas se tendrá en cuenta los desequilibrios máximos admisibles establecidos en este pliego.

Se admitirá una tolerancia en el peso indicado de +500 kg por coche, sin penalización.

El exceso de peso de cada coche será penalizado por cada kg de exceso, según se establezca en el Pliego de Condiciones Particulares.

La medida del peso se realizará con todos los equipos montados antes de la salida de fábrica del tren. No se aceptará que la medida de peso se realice sin que todos los equipos del tren estén montados, en tal caso, se considerará el valor del peso como el mayor peso del tren medido durante el proyecto y se sumará el 10% a dicho valor de peso.

## 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

En relación a la presión sonora, con el fin de minimizar el impacto medio ambiental y preservar el bienestar de las personas, el tren respetara 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: El nivel de ruido medido con el parámetro LpAeqT en frente de cada uno de los equipos funcionando aisladamente (con alimentación exterior si es necesario o sin que los otros equipos contribuyan al ruido del propio equipo) no sobrepasará los 65 dB(A). La distancia de medición corresponderá a la indicada en la ISO 3095:2013. Los equipos funcionarán según lo especificado en la norma ISO 3095:2013.
- Tren en aceleración/frenado desde parado de 0 a 30 km/h y viceversa: El nivel de ruido medido con el parámetro LpAmax durante la aceleración no sobrepasará los 80 dB(A) medidos según norma ISO 3095:2013. La aceleración/frenado de la unidad corresponderá a la típica utilizada en servicio comercial.

### 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 LpAeqT en las posiciones recomendadas en la norma ISO 3381:2005 no sobrepasará 65 dB(A). Los equipos funcionarán de acuerdo 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 LpAmax 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 LpAeqT 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.

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 tracción de un tren en los siguientes tramos:

- Lote 1: L2: Entre Passeig de Gràcia – Artigues. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 214 KWh.
- Lote 2: L1: Entre Mercat Nou – Catalunya. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 414 KWh
- Lote 3: L3: Entre Zona Universitaria – Catalunya. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 230 KWh.

El cálculo se realizará con las siguientes hipótesis:

- Perfil de línea, recorrido y condiciones de marcha según velocidades ATO aportadas por FMB en el Anexo correspondiente de este Pliego (Anexos: TRAZADO\_L1\_Mercat\_Fondo, TRAZADO\_L2-Passeig\_Artigues, TRAZADO\_L3-Zona\_Catalunya).
- Parada en estaciones de 20 segundos sin abrir puertas.
- Tren en tara (AW0).
- Pruebas nocturnas sin trenes adicionales en la vía, sin considerar devolución a catenaria (Sin receptividad de catenaria)

- Vía seca.
- Ruedas nuevas.
- Temperatura de simulación 35°C en túnel sin viento.
- Consumo de auxiliares del tren: El tren estará funcionando como si estuviera funcionando en servicio, con todos sus equipos en correcto estado y con el aire acondicionado apagado.
- En el cálculo no se considerará el consumo producido por el cambio de vía, es decir, los cálculos se realizarán de estación a estación sumando el resultado de Vía 1 y de Vía 2.

Se tomará como referencia para realizar el cálculo la norma EN 50463 teniendo en cuenta las hipótesis anteriores.

En fase de proyecto el Adjudicatario demostrará los valores de consumo reales del tren indicados en la oferta, mediante las correspondientes pruebas en vía en los tramos y en las condiciones indicadas en este apartado. El Adjudicatario emitirá el correspondiente informe en el plazo máximo de dos (2) semanas desde la realización de las pruebas, las cuales deberán ratificar los valores ofertados. En caso de no cumplirse los valores ofertados se aplicarán los valores obtenidos en las pruebas reales como penalización para toda la flota de trenes.

## 10 NORMATIVA PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS Y PARA LA RECEPCIÓN DE INFORMACIÓN GRÁFICA.

### 10.1 GENERALIDADES

A continuación, se especifica la normativa básica para la elaboración y suministro de la documentación necesaria para el proyecto.

Este punto no limita el resto de documentación solicitada en otros puntos de este pliego o posterior documentación solicitada.

Esta normativa descrita, afectará tanto a la documentación generada en fase proyecto como en posterior documentación entregada en fases de garantía, postventa y otras demandas documentales.

Toda la información la generará la empresa Adjudicataria que lidere el proyecto y tendrá que ser entregada a FMB tres (3) meses antes de la puesta en servicio del primer tren.

La entrega de la documentación dentro del tiempo estipulado será condición necesaria para que los trenes carguen kilómetros e inicien el período de garantía (tal y como se indica en el capítulo de generalidades de este mismo pliego).

Diferenciaremos la normativa de planos y la normativa para el resto de la documentación.

En caso de omisión del punto anterior se considerará aceptado el cumplimiento de esta normativa.

### 10.2 NORMATIVA PARA LA ELABORACIÓN Y RECEPCIÓN DE PLANOS

Ver Anexo.

## 11 INGENIERÍA, FABRICACION, PRUEBAS, Y PUESTA EN MARCHA

Este plan deberá ser aprobado por FMB antes de continuar con las siguientes fases de industrialización y fabricación.

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.

### **11.1 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 diseño 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 aportaran 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.

#### 11.1.1 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.

### 11.1.2 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 archivarse 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.

## 11.2 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.

El Adjudicatario presentará a FMB, al inicio de la fase de proyecto, la lista de sus principales suministradores para aprobación de FMB, así como los informes justificativos correspondientes analizando el cumplimiento de que estos cumplen con los requerimientos de este Pliego.

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 viiniendo 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.

#### 11.2.1 Inspección y pruebas durante la fabricación

El Adjudicatario, un mes después de la firma del contrato, 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, 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 modificación 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 modificaciones 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.

#### 11.2.2 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 a las Especificaciones Técnicas.

- Confirmar 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.

#### 11.2.3 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.

#### 11.2.4 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.

#### 11.2.5 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.

#### 11.2.6 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.

#### 11.2.6.1 Control de las Cajas

##### 11.2.6.1.1 *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.

##### 11.2.6.1.2 *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 recepcionario y el control de recepción realizado.

##### 11.2.6.1.3 *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 pivotarán 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 utilaje 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 intervintivo 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 ensayarán 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 pivotante y del bastidor

Se verificarán las traviesas pivotantes 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.

➤ 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.

#### 11.2.6.1.4 *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.

#### 11.2.6.1.5 *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 Inspectoría, 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.

11.2.6.1.6 *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 instrucción 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 todos 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 los mismos, 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.

#### 11.2.6.1.7 *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 quíntuples 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 apertura 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.

#### 11.2.6.2 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:

##### 11.2.6.2.1 *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.

#### 11.2.6.2.2 *Mecanizado*

Control general de las operaciones de mecanizado.

#### 11.2.6.2.3 *Montaje del bogie*

- a) Conformidad.
- b) Juegos pares de aprietas.

#### 11.2.6.2.4 *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.

#### 11.2.6.2.5 *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.

#### 11.2.6.2.6 *Fichas de recepción*

Comprenderán los resultados de los distintos controles.

#### 11.2.6.3 Programa de las principales operaciones de control de los motores de tracción

Los controles a realizar serán los indicados en los apartados siguientes.

#### 11.2.6.3.1 *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.

#### 11.2.6.3.2 *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.

#### 11.2.6.3.3 *Montaje del motor*

- a) Control de los rodamientos.
- b) Control de la colocación del rotor.

- c) Medida del juego lateral y radial.

11.2.6.3.4 *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.

11.2.6.3.5 *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.

11.2.6.4 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.

#### 11.2.6.5 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. Precisará 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 vengan acompañados con la documentación, justificativa de que dichas pruebas han sido realizadas y superadas. Certificados 3.1 según EN 10204 en su última versión.

##### 11.2.6.5.1 *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.

Contactores. 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 Contactores. Reglas (o su equivalente).

NF C 63.120 Disyuntores. Reglas.

UNE-EN 61095:99 Aparatamiento de maniobra de baja tensión. Contactores.

CEI 77157-1

El control se efectuará por muestreo.

**11.2.6.5.2 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.

#### 11.2.6.5.3 *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.

#### 11.2.6.5.4 *Equipos electrónicos, sistema informático embarcado, sistemas de comunicación, sistemas de conducción automática sin conductor.*

El 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.

#### 11.2.6.5.5 *Resistencias de freno*

Se verificará la conformidad de las resistencias de freno con la prescripción CEI 322.

#### 11.2.6.5.6 *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.
- Ensajos 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 desgarro, 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.

#### 11.2.6.6 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.

##### 11.2.6.6.1 *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 convocatoria del receptor.
- Normas utilizadas para las recepciones.
- Criterios de aceptación.

Se distinguirán dos casos:

Piezas tipo

- a) Para el caso de grandes piezas (cargas). 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.

#### 11.2.6.6.2 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.

#### 11.2.6.6.3 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 ferreos. 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.

#### 11.2.6.6.4 *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 despulia.
- 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.

#### 11.2.7 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.”.

##### **11.2.7.1      Caja**

<b><u>Material</u></b>	<b><u>Nivel de control</u></b>
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

#### 11.2.7.2 Bogies

<b>Material</b>	<b>Nivel de Control</b>
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

#### 11.2.7.3 Motores de tracción

<b><u>Material</u></b>	<b><u>Nivel de Control</u></b>
Montaje de los motores .....	4
Carcasa motor.....	2
Eje motor .....	3
Rodamientos .....	2
Hilo de bobinaje .....	1
Rotor .....	4
Ventiladores .....	2
Cables .....	2
Captadores de velocidad .....	2

#### 11.2.7.4 Equipo de tracción

<b><u>Material</u></b>	<b><u>Nivel de control</u></b>
Equipo electrónico de control .....	4
Circuito de potencia .....	4
Bobinas .....	4
Condensadores de potencia .....	4
Soportes .....	2

Hilo de bobinaje .....	1
Bulones y tornillos de seguridad .....	2
Cables .....	2
Contactores A T .....	3
Disyuntor .....	4

#### 11.2.8 Ensayos y controles

##### 11.2.8.1 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.

#### 11.2.9 Gestión de la fabricación

##### 11.2.9.1 Plan de control del Adjudicatario

###### 11.2.9.1.1 *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.

###### 11.2.9.1.2 *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 modificación 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.

#### 11.2.9.2 Principios del programa de la Inspección de fabricación

##### 11.2.9.2.1 *Prescripciones administrativas concernientes al establecimiento de pedidos*

###### 11.2.9.2.1.1 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.

#### 11.2.9.2.1.2 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.

#### 11.2.9.2.2 *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 pivot, 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.

### 11.3 PLANNING DE FABRICACIÓN, PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA

Las fases claves del proyecto son:

- FASE I (antes del 4 semanas desde la firma del contrato): Al inicio del contrato, máximo en un (1) mes desde la firma del contrato, el Adjudicatario deberá haber entregado la propuesta documental para su revisión. FMB dispondrá de plazo una (1) semana para revisarla y autorizar a su uso si se cumple con lo especificado en el PPT.

En caso de que la propuesta documental no sea aprobada por FMB en el plazo indicado, el Adjudicatario dispondrá de plazo una (1) semana para presentar una propuesta con las

modificaciones solicitadas por la FMB. En caso de no cumplir con las modificaciones solicitadas en el plazo indicado, no será aprobado por FMB.

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 y reservándose FMB el derecho a reclamar la indemnización que corresponda. Asimismo, se procederá a adjudicar el contrato al licitador que haya presentado la siguiente oferta con mejor relación calidad-precio, previa presentación de la documentación exigida en la cláusula 22.8 del PCP.

La documentación se entregará en formato informático pdf.

El Adjudicatario entregará 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 detallada de la instalación del Sistema de detección de descarrilamiento.
- Documentación técnica CBM.
- Lista sustancias candidatas extremadamente preocupantes que el adjudicatario se compromete a no utilizar.
- Justificación según ISO 21106:
  - Reciclabilidad: 95%.
  - Recuperabilidad: 98%.
- Justificación del peso total del tren:
  - Lote 1: Trenes L2 y L4: 155.000 Kg.
  - Lote 2: Trenes L1: 161.000 Kg.
  - Lote 3: Trenes L3: 155.000 Kg.
- Justificación cálculo de consumo energético:

- L1: Entre Mercat Nou – Catalunya. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 414 KWh.
  - L2: Entre Passeig de Gràcia – Artigues. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 214 KWh.
  - L3: Entre Zona Universitaria – Catalunya. Consumo máximo permitido en dicho tramo por ambas vías será 230 KWh.
  - 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 última milla.
  - Descripción detallada del sistema de engrase de pestañas embarcado.
- FASE II: Validación de la ingeniería de detalle: El Adjudicatario deberá elaborar y presentar a FMB, en el plazo máximo de catorce (14) meses desde la firma del contrato, una validación de Ingeniería de diseño, que incluirá como mínimo:

El resto de fases del proyecto se acordarán una vez presentado el plan de validación del proyecto.

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 de 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 de 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>
<b>GENERAL</b>	
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

Coefficiente de flexibilidad	T
Descarga de rueda	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
<b><u>COCHE MOTOR A - B</u></b>	
<b>Verificación circuitos eléctricos</b>	
Continuidad	S
Prueba de Rígidez 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
<b>Funcionalidad equipos DE TRACCIÓN</b>	
Equipo tracción	T/S
<b>Funcionalidad equipos neumáticos</b>	
Equipo neumático (freno y circuitos auxiliares)	T/S
<b><u>COCHE R</u></b>	
<b>Verificación circuitos eléctricos</b>	
Continuidad	S
Mando tren	S
Circuitos neumáticos	S
Sistemas de seguridad	S
Puertas	S

Monitorización - Información	S
Verificación resistencia puesta a masa	S
<b>Funcionalidad equipos neumáticos</b>	
Equipo de freno	S
<b>UNIDAD ACOPLADA</b>	
<b>ENSAYOS ESTÁTICOS</b>	
<b>Funcionalidad equipos eléctricos</b>	
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
<b>Funcionalidad equipos neumáticos</b>	
Funcionalidad equipos neumáticos	T/S
<b>Prestaciones de equipos</b>	
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
<b>DINAMICO EN FACTORIA</b>	

<b>Pruebas dinámicas equipo de freno</b>	
Equipo de freno	T/S
<b>Pruebas dinámicas equipo de tracción</b>	
Equipo de tracción + modo socorro	S
<b>Pruebas EMC</b>	
<b>Sistemas de seguridad</b>	
Hombre muerto	T/S
<b>VÍA FMB</b>	
<b>Recepción final</b>	
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
<b>Dinámico en vía</b>	
Gálibo 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
<b>Prestaciones equipo de freno</b>	
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
<b>Prestaciones equipo de tracción</b>	
Equipo de tracción + modo socorro	T/S
<b>Prestaciones de equipos y sistemas</b>	
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
ULTIMA MILLA	T
ENGRASADORES DE PESTAÑA	T
<b><u>REMOLCADO DE UNIDADES</u></b>	
<b>Acoplamiento entre unidades</b>	
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.