



**Realizar la estructuración integral del proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá, incluyendo los componentes legal, de riesgos, técnico y financiero**

**Entregable 4**  
**Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte**  
**Anexo A**

Documento No. L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC



REALIZAR LA ESTRUCTURACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ, INCLUYENDO LOS COMPONENTES LEGAL, DE RIESGOS, TÉCNICO Y FINANCIERO

E4 – Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte – Anexo A – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0003\_VC

## CONTROL DE CAMBIOS

### ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Versión	Fecha	Sección Modificada	Observaciones
A	18-02-2022	-	Versión Inicial
B	08-03-2022	Integración general de modificaciones solicitadas	Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. Se asigna el capítulo al Apéndice 5 del Anexo H
C	05-05-2022	-	Observaciones del Ministerio de Transporte. Se reasigna el capítulo a la Sección 10 del Anexo A

## REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

J. C. Pantoja 18-05-2022
Gerente de estructuración

## REVISIÓN Y APROBACIÓN

Revisó:  O. Véliz 05-05-2022	Revisó:  F. Faria 05-05-2022	Revisó:  C.L. Umaña 05-05-2022	Aprobó:  J.M. Martínez 05-05-2022
VoBo. Director Técnico	VoBo. Director Financiero	VoBo. Director Legal	VoBo. Director General de Estructuración

## TABLA DE CONTENIDO

<b>A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO</b>	5
<b>10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN</b>	5
10.12. MATERIAL RODANTE	5
10.12.1. Diseño probado	5
10.12.2. Requerimiento operacionales	5
10.12.2.1. Contexto operativo	5
10.12.2.2. Condiciones climáticas	5
10.12.3. Características técnicas	6
10.12.4. Interoperabilidad con la PLMB	7
10.12.5. Capacidad de transporte	7
10.12.6. Principios de diseño	8
10.12.7. Aspectos asociados con el diseño de los vehículos	8
10.12.7.1. Estética	9
10.12.7.2. Disposición interior y diseño	9
10.12.8. Flujo de pasajeros	11
10.12.9. Protección y seguro contra los incendios	11
10.12.10. Compatibilidad Electromagnética (EMC)	11
10.12.11. Confort de los pasajeros	12
10.12.12. Rendimiento dinámico	13
10.12.12.1. Rendimiento de tracción	13
10.12.12.2. Rendimiento de frenado	13
10.12.12.3. Sistema de protección antideslizamiento (WSP)	14
10.12.13. Requerimientos funcionales y técnicos	14

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. - Características técnicas

Tabla 2. - Configuración de 7 coches en carga normal de 6 p/m<sup>2</sup>

Tabla 3. - Requisitos de confort acústico

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. - Ejemplo de configuración de tracción (R: remolque, M: motor, Mp: motor con pantógrafo)

Figura 2. - Ejemplo de arreglo de asientos

Figura 3. - Ejemplo de fijación de un asiento

## A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

### 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

#### 10.12. MATERIAL RODANTE

##### 10.12.1. Diseño probado

Los vehículos, incluidos todos sus subsistemas y equipos, serán de diseño probado, lo que significa que serán, en la medida de lo posible, comparables con productos "estándares" ya producidos en el mundo y con soluciones bien probadas y modernas. Los subsistemas y equipos recomendados deben haber demostrado su fiabilidad en líneas y redes de metros que se encuentran en operación desde por lo menos 3 años.

##### 10.12.2. Requerimiento operacionales

###### 10.12.2.1. Contexto operativo

Los vehículos estarán dotados del nivel de automatización GOA4.

El sentido normal de circulación de los vehículos será el lado derecho. Sin embargo, a efectos de funcionamiento, los vehículos podrán tener la posibilidad de circular tanto por el lado derecho como por el lado izquierdo.

La operación nominal se realizará con un vehículo compuesto por siete coches.

Se prevé que el rescate de un vehículo averiado por otro vehículo sea posible.

###### 10.12.2.2. Condiciones climáticas

Los vehículos deberán poder operar sin restricciones en las condiciones ambientales específicas de Bogotá.

Los vehículos podrán ser estacionados al aire libre independientemente de las condiciones atmosféricas, por lo que se tomarán las precauciones necesarias para permitir su normal funcionamiento después de su permanencia en condiciones de intemperie (calor, sol, etc.).

Las condiciones climáticas de Bogotá están descritas en el Manual ASHRAE y deben ser consideradas.

Los rangos de temperatura deberán cumplir con la clase T1 según la norma EN 50125-1 con el requisito adicional de considerar -10°C en lugar de -25°C como temperatura mínima.

Se impone que se pueda desmontar los vehículos al final de su ciclo de vida y se prohíbe el uso de materiales perjudiciales para el medio ambiente.

### 10.12.3. Características técnicas

Las principales características de los vehículos son:

Tabla 1. - Características técnicas

Características	Datos
1. Tipo de material rodante	Metro
2. Tipo de operación	Automática con CBTC
3. Localización de la línea	Bogotá
4. Número de coches por tren	7
5. Configuración de los trenes	MC-T-M-M-M-T-MC (configuración con 7 coches) - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
6. Capacidad de pasajeros:	
6.1. Capacidad del tren a 6p/m <sup>2</sup> (px)	1778 mínima
6.2. Capacidad por coche (px)	Mc: 268, T/M: 253 (configuración con 7 coches)
6.3. Asientos por coche (px)	Mc: 36, T/M: 36 (configuración con 7 coches)
6.4. Pasajeros de pie (px)	Mc: 232, T/M: 217 (configuración con 7 coches)
7. Dimensiones generales	
7.1. Longitud del tren	145m máximo
7.2. Longitud de los coches	20m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.3. Altura de los coches	3,89 m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.4. Anchura de los coches	2,9 m - indicativo y por precisar por el proveedor de material rodante
7.5. Distancia entre ejes	+/- 2,1 m
7.6. Altura del piso	1100 mm 0/+50 mm
7.7. Ancho de vía	1435 mm
7.8. Diámetro de las ruedas (mm)	Max: 860, Min: 790
8. Puertas	
8.1. Número de puertas por lado por coche	4
8.2. Dimensiones de las puertas	1600 mm x 1900 mm

Características	Datos
9. Carga máxima por eje	18 ton /eje máximo
10. Alimentación	1500 Vcc
11. Prestaciones dinámicas	
11.1. Velocidad máxima de servicio UTO (Km/h)	80 km/h
11.2. Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	0,86 m/s <sup>2</sup> (1,2m/s <sup>2</sup> de 0 a 35km/h)
11.3. freno de urgencia	-1,3 m/s <sup>2</sup>
11.4. Freno de servicio	-1 m/s <sup>2</sup>
11.5. Jerk de tracción	Inferior a 1 m/s <sup>3</sup>

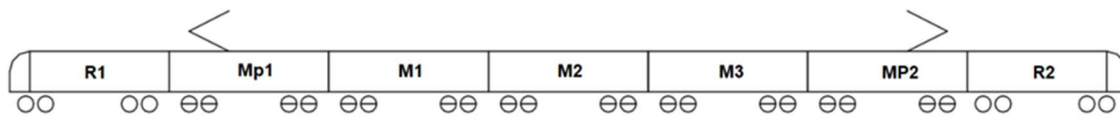


Figura 1. - Ejemplo de configuración de tracción (R: remolque, M: motor, Mp: motor con pantógrafo)

#### 10.12.4. Interoperabilidad con la PLMB

No habrá interoperabilidad de trenes entre la PLMB y la L2MB, siendo el resultado de mesas de trabajos donde se expuso que la integración de requerimientos de interoperabilidad entre ambas líneas de metro generaría más desventajas (limitación del mercado, complejidades contractuales) que ventajas (potenciales ahorros de costos OPEX). Sin embargo, se precisa que una parte importante de los criterios de diseño y de las especificaciones técnicas del material rodante retoma numerosos aspectos y especificaciones técnicas de la PLMB.

#### 10.12.5. Capacidad de transporte

Se utilizó un valor referencial de 6 pax/m<sup>2</sup> para el cálculo de la carga operacional del tren de acuerdo con las normas NF EN 15663 y NF EN 13452-1.

- EL E: El peso de un coche vacío, listo para circular;
- EL T: El peso de un coche con todos los asientos ocupados y un pasajero en una silla de ruedas;
- EL 4: Peso del coche con carga de confort. Este peso es la suma de EL T más 4 viajeros de pie/m<sup>2</sup>;
- EL 6: Peso del coche con carga nominal. Este peso es la suma de EL T, más 6 viajeros de pie/m<sup>2</sup>;
- EL 8: Peso del coche con carga excepcional. Este peso es la suma de EL T, más 8 viajeros de pie/m<sup>2</sup>;
- EL 10: Peso del coche en sobrecarga de estudio del diseño de la estructura de la caja. Este peso es la suma de EL T, 10 viajeros de pie/m<sup>2</sup>.

Se estableció una masa promedio por pasajero de 70kg.

El fabricante deberá entregar los pesos para los criterios de carga definidos.

Se presenta en la tabla siguiente la capacidad de los vehículos y su reparto entre pasajeros sentados y pasajeros de pie:

*Tabla 2. - Configuración de 7 coches en carga normal de 6 p/m<sup>2</sup>*

Criterios Básicos	7 Coches
Pasajeros sentados	252
Pasajeros de pie	1.594
Total pasajeros	1.846 (sin PRM)

#### 10.12.6. Principios de diseño

En el diseño de los vehículos se aplicarán los siguientes principios de diseño (lista no exhaustiva):

- Los vehículos deberán ser de tecnología probada, de última generación y con un diseño económico que se ajuste a los requisitos generales de la Empresa Metro de Bogotá;
- Los vehículos serán seguros, fiables, duraderos, dotados de una redundancia adecuada, fáciles de usar y atractivos, con capacidad para satisfacer las demandas previstas, buenas cualidades de conducción, comodidad para los usuarios, incluido un bajo nivel de ruido;
- Acabados exteriores e interiores atractivos de material apropiado resistente al fuego y retardante que envejezca bien y no se envejezca y detección de fuego/humo;
- Los vehículos garantizarán una alta disponibilidad, con bajos costes de mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida, un bajo desgaste de las ruedas, un mantenimiento mínimo, una alta intercambiabilidad de piezas, componentes modulares con pocos tiempos de indisponibilidad, basado sobre diagnóstico adecuado sobre y unos tiempos mínimos de sustitución de componentes;
- Los vehículos deberán garantizar un fácil acceso para las personas con discapacidad;
- Los vehículos deberán tener un alto rendimiento, cumpliendo con las pendientes y curvas especificadas tanto en funcionamiento normal como degradado y de emergencia, optimizando el equilibrio entre el tiempo de viaje, el número total de vehículos, el consumo de energía, el suministro de energía, el equipo de tracción y los ejes motorizados;
- Los vehículos deberán ofrecer facilidad de limpieza exterior e interior y ausencia de trampas de suciedad y polvo;
- La duración prevista de la vida útil será de al menos 40 años y 5 millones de km;
- Se deberá proporcionar un etiquetado amplio y destacado de las piezas y de los cables;
- Uso de números de serie únicos para la trazabilidad de los componentes;
- Funcionamiento seguro incluso en modos degradados:
  - Fallo de tracción que implique uno o más bogies motores fuera de uso;
  - Fallo de frenado que implique uno o varios bogies fuera de uso

#### 10.12.7. Aspectos asociados con el diseño de los vehículos



#### 10.12.7.1. Estética

La apariencia del exterior del vehículo debe ser de un perfil moderno y estéticamente agradable, lo que contribuirá en gran medida a lograr una propuesta muy atractiva y un éxito comercial.

El módulo frontal deberá tener una forma estéticamente agradable y un acabado de alto nivel.

Los arreglos interiores y los materiales de acabado estarán sujetos a la aprobación de la Empresa Metro de Bogotá. Se presentarán al menos 3 cuadernos de diseño que presenten alternativas de diseño exterior e interior, uno de ellos basado en los vehículos existentes, para la aprobación de la Empresa Metro de Bogotá desde las primeras etapas del proyecto. Los renders deberán mostrar todos los detalles exteriores e interiores, incluyendo la elección de colores, la cara frontal, la cabina de conducción, la disposición de los asientos, la zona de pasarela, los montantes, las puertas, las ventanas, el esquema de iluminación, los asideros, etc.

#### 10.12.7.2. Disposición interior y diseño

La zona de pasajeros estará diseñada para transportar todos tipos de viajeros, incluidos los válidos, los niños, los pasajeros con equipaje, las personas mayores, las personas con discapacidades leves y los discapacitados, incluidas las personas no ambulantes en silla de ruedas.

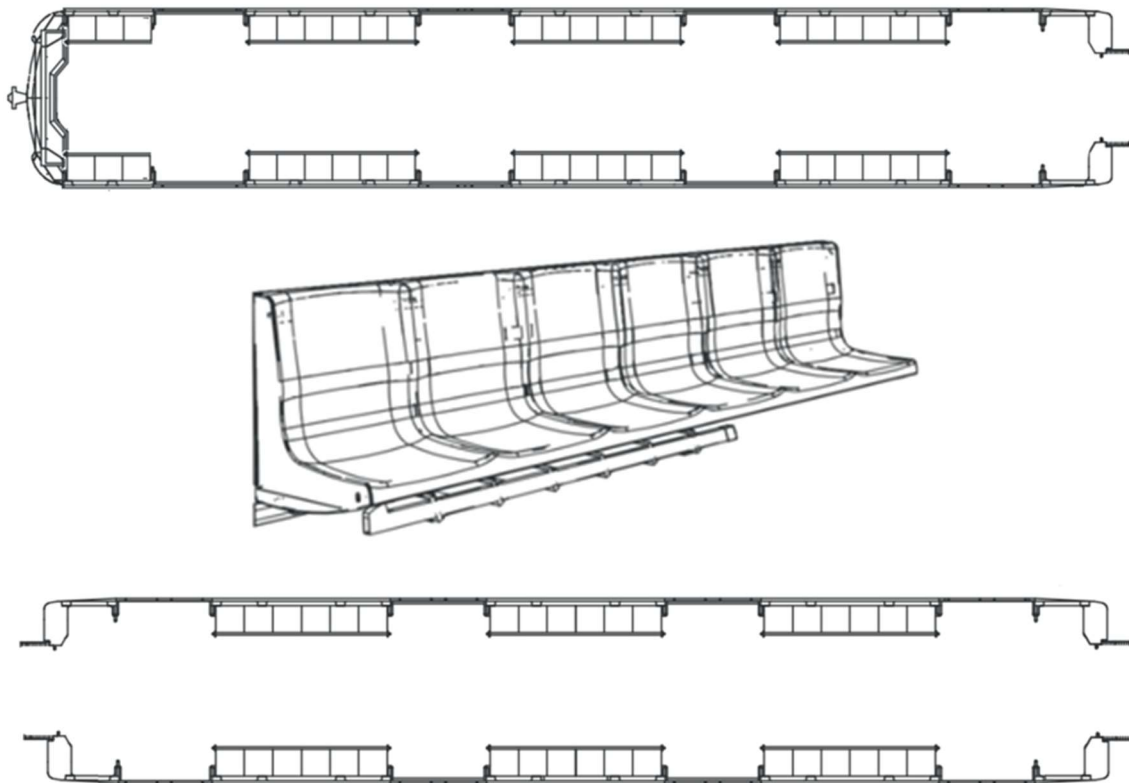


Figura 2. - Ejemplo de arreglo de asientos

Los pasajeros transportados deberán poder moverse dentro de todo el vehículo (incluidas las zonas de pasillo) sin ningún obstáculo fijo en su camino, como los componentes del vehículo o los asientos.

La disposición del vehículo incorporará un enfoque estético moderno con consideraciones para optimizar la comodidad, seguridad y protección de los pasajeros, así como para minimizar el ruido.

La configuración de los asientos será de tipo longitudinal para lograr la capacidad de transporte.

Se dispondrá de un total de dos espacios para sillas de ruedas por tren.

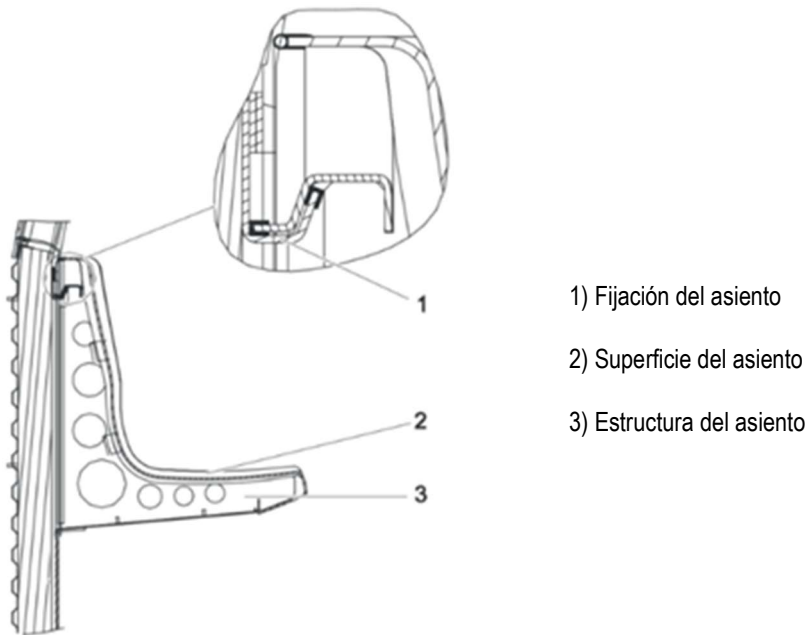


Figura 3. - Ejemplo de fijación de un asiento

Las zonas de uso especial para la silla de ruedas y los cochecitos de bebé se situarán contra la pared lateral adyacente a una puerta y estarán equipadas con un soporte ciático que se utilizará cuando no haya ninguna persona con una necesidad especial.

La combinación de colores del interior deberá maximizar la visibilidad y se utilizarán colores contrastados para mejorar la visibilidad de las personas con discapacidad visual.

### 10.12.8. Flujo de pasajeros

Los requisitos relativos a la transferencia de pasajeros entre los vehículos y los andenes de la estación son los siguientes:

- Hacer posible el transbordo en el menor tiempo posible;
- Distribuir los espacios vacantes uniformemente en toda la longitud del vehículo;
- Garantizar una transferencia segura y cómoda;
- Disponer de aberturas lo más amplias posibles;
- Disminuir al máximo los tiempos de apertura y cierre de las puertas.

Para garantizar dichos requisitos, se aplican los siguientes criterios de diseño para las puertas:

- Se espera una tasa de transferencia de alrededor del 20-30% (tasa de la longitud total de las aberturas de las puertas respecto a la longitud del vehículo), ofreciendo un intercambio de pasajeros fácil y rápido en las estaciones para satisfacer los tiempos de permanencia especificados y el tiempo de ida y vuelta previsto;
- El diseño de la puerta de pasajeros deberá permitir la evacuación completa del tren cargado en EL4 en menos de 30s;
- El diseño de las puertas de viajeros deberá permitir la evacuación completa del tren cargado en EL4 en menos de 30 segundos; En cada lado, el vagón estará provisto de al menos 4 puertas de doble hoja de una anchura mínima de 1.600 mm, situadas una frente a la otra;
- El flujo mínimo de pasajeros por puerta será de 80 pasajeros/minuto
- La altura de apertura de las puertas será de al menos 1,95 m;
- Los tiempos de apertura y cierre, incluido el bloqueo de las puertas, serán de hasta 3 segundos, pero ajustables;
- La diferencia de altura máxima hacia arriba entre el andén y la entrada del vehículo será de 50 mm. La diferencia hacia abajo será de 0 mm;
- La diferencia horizontal entre el umbral del vehículo y el borde del andén deberá limitarse a 50 mm.

### 10.12.9. Protección y seguro contra los incendios

Todos los materiales, componentes y construcción deberán cumplir las normas y códigos aplicables en materia de seguridad contra incendios y deberán cumplir la norma EN 45545 con categoría de funcionamiento 2.

Cada compartimento de pasajeros tendrá detectores de humo que, cuando se activen, enviarán una alarma al puesto de conducción de emergencia. Los detectores serán apropiados para la aplicación de los vehículos de transporte público.

El vehículo estará diseñado para evitar la propagación del fuego mediante barreras contra el fuego en el suelo, y en las paredes de los laterales y los extremos, así como en las carcasas de los equipos resistentes al fuego. El suelo del tren proporcionará una barrera contra el fuego ensayada de acuerdo con la norma EN 45545-3. Cada coche dispondrá de un extintor.

### 10.12.10. Compatibilidad Electromagnética (EMC)

Los vehículos no deben interferir ni sufrir interferencias con los distintos componentes de sistemas (sistemas electrónicos y de telecomunicaciones). La compatibilidad de las interferencias electromagnéticas de los vehículos se ajustará a la serie EN 50121.

#### 10.12.11. Confort de los pasajeros

Los principales requisitos de confort, que garantizan un servicio de calidad, son los siguientes:

- El índice de confort (índice entre el número de asientos y la capacidad total) deberá estar entre el 12% y el 15% en caso de carga EL6;
- La altura mínima del techo central de las zonas de pasajeros será de 2,1 m;
- La abertura de la pasarela entre los módulos tendrá una anchura mínima de 1,3 m y una altura de 1,95 m;
- Los vehículos serán accesibles para personas discapacitadas con silla de ruedas, pero también para personas que lleven cochecitos de niños;
- Los vehículos estarán dotados de pantallas que todos los pasajeros puedan ver. Su colocación estará sujeta a la aprobación de la Empresa Metro de Bogotá;
- El vehículo tendrá un sistema de aire acondicionado. No fue considerado oportuno ni necesario prever un sistema de calefacción.

Las condiciones de medición del ruido están definidas por las normas internacionales ISO 3381 para el interior del vehículo e ISO 3095 para el exterior. Además de estas normas, los niveles de ruido que se indican a continuación se obtienen con cargas ELE y EL4.

La presión acústica máxima de un vehículo vacío en orden de marcha en vía recta que debe medirse en un periodo de 1s se define en la siguiente tabla:

Tabla 3. - Requisitos de confort acústico

Velocidad		Parada	40 km/h	60 km/h
Unidad (LpAeq)		T dBA	500ms dBA	500ms dBA
ruido al interior del coche a 1,2m sobre el piso	Zonas de pasajeros	62	67	70
	Pasillo	64	72	75
Ruido al exterior del coche a 7,5 m desde la línea central de la vía y a 1,20 m sobre el nivel de la vía		60	74	80

El interior del vehículo estará diseñado para evitar la resonancia de los paneles y otros componentes del vehículo. Los soportes de los equipos se diseñarán para minimizar la transmisión de vibraciones. Estas vibraciones serán suficientemente alejadas de las frecuencias de excitación primarias para evitar cualquier tipo de vibración resonante en las distintas condiciones de velocidad y de alimentación eléctrica de la línea. La calidad de la conducción se evaluará de acuerdo con la norma ISO 2631 o EN 12299.

## 10.12.12. Rendimiento dinámico

El rendimiento dinámico está definido por la estabilidad, la velocidad máxima, las aceleraciones/desaceleraciones y el jerk.

### 10.12.12.1. Rendimiento de tracción

Los requisitos relativos a las aceleraciones se dan a nivel y en alineación recta, con una alimentación nominal de 1500 Vdc y con una relación de adherencia máxima de las ruedas del carril del 25 %:

- Velocidad máxima de funcionamiento: 80 km/h con EL6 y ruedas totalmente desgastadas;
- Velocidad de diseño: 90km/h
- La aceleración media de 0 a 40 km/h (aceleración media de arranque) será de al menos 1,1 m/s<sup>2</sup>;
- La aceleración media de 0 a 80 km/h deberá ser de al menos 0,8 m/s<sup>2</sup>.

Los requisitos relacionados con modos degradados como la carga de pasajeros, los tipos de fallos y los aspectos de rendimiento son los siguientes:

- En caso de fallo de un inversor de tracción, los sistemas de tracción y de freno tienen que ser capaces de continuar el servicio con pasajeros hasta el final del día incluso con una ligera degradación de la velocidad comercial;
- En caso de que falle más de un inversor de tracción, el vehículo debe ser capaz de continuar el servicio con pasajeros hasta el final del viaje o hasta la siguiente estación;
- En caso de un fallo grave, después de descargar a los pasajeros en la estación más cercana, el vehículo en condición de carga vacía deberá ser capaz de realizar el arranque y el frenado en un pendiente de hasta 4 %;
- Un vehículo vacío deberá ser capaz de volver a arrancar en una pendiente del 4% al tirar o empujar a otro vehículo vacío, con una aceleración mínima de 0,1 m/s<sup>2</sup>.

### 10.12.12.2. Rendimiento de frenado

El rendimiento de frenado se determina siguiendo las definiciones de la norma EN 13452-1 y debe cumplir las siguientes funciones:

- Frenado de servicio: frenado utilizado normalmente bajo el control del conductor o de la ATO para controlar la velocidad del vehículo. Puede ser de tipo electrodinámico o mecánico.
- Frenado de emergencia: freno mecánico basado en el objetivo principal de maximizar la seguridad de los pasajeros, el personal y de los no usuarios del sistema. Pueden admitirse los frenos electromagnéticos.
- Freno de retención: freno que mantiene parado un vehículo con pasajeros durante un tiempo y una carga definidos;
- Freno de estacionamiento: freno que puede mantener permanentemente un vehículo con una carga definida en una pendiente definida durante un periodo de tiempo indefinido.

El vehículo deberá seguir cumpliendo su recorrido incluso aceptando una limitación del límite de velocidad máxima, a pesar de los fallos de algunos de sus equipos. Las prestaciones descritas a continuación deberán cumplirse:

- En caso de fallo de una unidad de frenado, las prestaciones del freno de servicio se mantendrán hasta el final del recorrido;

- En caso de avería de los frenos, las unidades de frenado defectuosas deberán poder aislarse y desactivarse de manera remota desde el panel de gestión de emergencia;
- En el caso de los vehículos de recuperación push-pull, será posible aislar la unidad dañada del sistema de frenado.

#### 10.12.12.3. Sistema de protección antideslizamiento (WSP)

El sistema de protección contra el deslizamiento de las ruedas mejorará las prestaciones de tracción y frenado al proporcionar un uso optimizado de la adherencia en todas las condiciones de las ruedas y los carriles.

#### 10.12.13. Requerimientos funcionales y técnicos

El material rodante fue especificado para el proceso de estructuración al nivel de los siguientes componentes:

- Caja y bogies;
- Interior de la caja;
- Sistema de energía;
- Equipos de tracción;
- Equipo eléctrico de auxiliares;
- Iluminación;
- Ventilación y climatización;
- Puertas;
- Freno;
- Acoplamiento;
- Pasillo;
- pupitre de emergencia;
- Sistema de Control y Mando del tren (TCMS);
- Registrador electrónico de eventos;
- Información, comunicaciones y supervisión (incluyendo radio);
- Sistema de información al Pasajero;
- Sistema de sonorización;
- Sistema CCTV;
- Sistema CBTC;
- Sistema de conteo de pasajeros.