

## TABLA DE CONTENIDO

<b>2.2.17.1</b>	<b>NORMATIVIDAD APLICABLE</b>	<b>2</b>
<b>2.2.17.2</b>	<b>REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>12</b>
<b>2.2.17.3</b>	<b>ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>16</b>
<b>2.2.17.3.1</b>	<b>Parte de la especificación que debe adaptarse debido al contexto de la línea 2</b>	<b>17</b>
<b>2.2.17.3.2</b>	<b>Parte de las especificaciones que podrían optimizarse</b>	<b>18</b>
<b>2.2.17.4</b>	<b>REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ</b>	<b>19</b>
<b>2.2.17.5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>31</b>

## 2.2.17 ET17 - MATERIAL RODANTE

<b>Disciplina:</b>	<b>Material Rodante</b>
<b>Entregable de referencia:</b>	<b>Entregable 6 / ET17-Material rodante</b>

1.

### 2.2.17.1 NORMATIVIDAD APLICABLE

Las normas principales de referencia para el diseño son las siguientes:

Identificación	Designación
EN ISO 7250	Basic human body measurements for technological design / Medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico
EN ISO 9606-2	Qualification test of welders - Fusion welding - Part 2: Aluminium and aluminium alloys / Prueba de calificación de soldadores - Soldadura por fusión - Parte 2: Aluminio y aleaciones de aluminio
EN ISO 15607	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - General rules / Especificación y calificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos - Reglas generales
EN ISO 15609-1	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure specification - Part 1: Arc welding / Especificación y calificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos - Especificación de procedimientos de soldadura - Parte 1: Soldadura por arco
EN ISO 3834	Quality Requirements for Fusion Welding of Metallic Materials. Comprehensive quality requirements / Requisitos de calidad para la soldadura por fusión de materiales metálicos. Exigentes requisitos de calidad

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

ISO 68-1	ISO General Purpose Screw Threads. Basic profile. Metric screw threads / Roscas de tornillo de uso general ISO. Perfil básico. Roscas métricas
ISO 281	Rolling bearings - Dynamic load ratings and rating life / Rodamientos: índices de carga dinámica y vida nominal
ISO 2553	Welded, brazed and soldered joints – Symbolic representation on drawings / Uniones soldadas, soldadas y soldadas – Representación simbólica en dibujos
ISO 2631-1	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements / Vibración mecánica y choque. Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo. Parte 1: Requisitos generales.
ISO 2631-2	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz) / Vibración mecánica y choque - Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo - Parte 2: Vibración en edificios (1 Hz a 80 Hz)
ISO 2631-4	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 4: Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort in fixed-guideway transport systems / Vibración mecánica y choque. Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo. Parte 4: Directrices para la evaluación de los efectos de la vibración y el movimiento de rotación en la comodidad de los pasajeros y la tripulación en los sistemas de transporte de guía fija.
ISO 2631-5	Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks / Vibración mecánica y choque. Evaluación de la exposición humana a la vibración de todo el cuerpo. Parte 5: Método para evaluar la vibración que contiene múltiples choques.
ISO 3095	Railway applications. Acoustics. Measurement of noise emitted by railbound vehicles / Aplicaciones ferroviarias. Acústica. Medición del ruido emitido por los vehículos sobre raíles
ISO 3381	Railway applications. Acoustics. Measurement of noise inside railbound vehicles / Aplicaciones ferroviarias. Acústica. Medición del ruido en el interior de vehículos sobre raíles
ISO 5817	Welding – Fusion-welded joints in steel – Quality levels for imperfections / Soldadura – Uniones soldadas por fusión en acero – Niveles de calidad para imperfecciones

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

ISO 14738	Safety of machinery - Anthropometric requirements for the design of workstations at machinery / Seguridad de las máquinas - Requisitos antropométricos para el diseño de puestos de trabajo en máquinas
ISO 9001-2008	Quality management systems – Requirements / Sistemas de gestión de la calidad -- Requisitos
IEC 60077-1	Railways Applications – Electric Equipment for Rolling Stock - Part 1: General service conditions and general rules / Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para material rodante - Parte 1: Condiciones generales de servicio y reglas generales
IEC 60077-2	Railways Applications – Electric Equipment for Rolling Stock - Part 2: Electrotechnical Components – General Rules / Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para material rodante - Parte 2: Componentes electrotécnicos - Reglas generales
IEC 60068-2-77	Environmental Testing / Pruebas ambientales
IEC 60310	Railway applications - Traction transformers and inductors on board rolling stock / Aplicaciones ferroviarias - Transformadores de tracción e inductores a bordo de material rodante
IEC 60322	Railway applications - Electric equipment for rolling stock - Rules for power resistors of open construction / Aplicaciones ferroviarias - Equipos eléctricos para material rodante - Reglas para resistencias de potencia de construcción abierta
IEC 60349-1	Electric traction - Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 1: Machines other than electronic convertor-fed alternating current motors / Tracción eléctrica. Máquinas eléctricas rotativas para vehículos ferroviarios y de carretera. Parte 1: Máquinas distintas de los motores de corriente alterna alimentados por convertidor electrónico.
IEC 60349-2	Electric Traction – Rotating electrical Machines for rail and Road Vehicles – Part 2: electronic Convertor- fed Alternating Current Motors / Tracción eléctrica - Máquinas eléctricas rotativas para vehículos ferroviarios y de carretera - Parte 2: Motores de corriente alterna alimentados por convertidor electrónico
IEC 60349-3	Electric Traction – Rotating electrical Machines for rail and Road Vehicles – Part 3: determination of the total losses of convertor-fed alternating current motors by summation of the component losses / Tracción eléctrica. Máquinas eléctricas rotativas para vehículos ferroviarios y de carretera. Parte 3: determinación de las pérdidas totales de los motores de corriente alterna alimentados por convertidor mediante la suma de las pérdidas de los componentes.
IEC 60529	Degrees of protection provided by enclosures (IP code) / Grados de protección proporcionados por envoltentes (código IP)

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

IEC 60571	Electronic equipment used on rail vehicles. / Equipos electrónicos utilizados en vehículos ferroviarios.
IEC 60850	Railway applications - Supply voltages of traction systems / Aplicaciones ferroviarias - Tensiones de alimentación de los sistemas de tracción
IEC 61000-4 Serie	Electromagnetic compatibility (EMC) / Compatibilidad electromagnética (EMC)
IEC TR 61000-2-14	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-14: Environment – Overvoltages on public electricity distribution networks / Compatibilidad electromagnética (EMC) – Parte 2-14: Medio ambiente – Sobretensiones en redes públicas de distribución de electricidad
IEC 61131-1	Programmable controllers - Part 1: General information / Controladores programables - Parte 1: Información general
IEC 61131-2	Programmable controllers - Part 2: Equipment requirements and tests / Controladores programables - Parte 2: Requisitos y pruebas del equipo
IEC 61131-3	Programmable controllers - Part 3: Programming languages / Controladores programables - Parte 3: Lenguajes de programación
IEC 61131-4	Programmable controllers - Part 4: User guidelines / Controladores programables - Parte 4: Directrices para el usuario
IEC 61131-5	Programmable controllers - Part 5: Communications / Controladores programables - Parte 5: Comunicaciones
IEC 61287-1	Power convertors installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods / Convertidores de potencia instalados a bordo del material rodante. Parte 1: Características y métodos de ensayo.
IEC 61373	Railway applications - rolling stock equipment - shock and vibration tests / Aplicaciones ferroviarias - Material rodante - Pruebas de choque y vibración
IEC 61375	Electric railway equipment - Train bus - Part 1: Train Communication Network / Equipo ferroviario eléctrico - Tren autobús - Parte 1: Red de comunicación del tren
IEC 61377- 1	Electric traction – Rolling stock- combined testing of inverter-fed alternatives current motors & their control / Tracción eléctrica - Material rodante - Ensayos combinados de motores de corriente alternativa alimentados por inverter y su control
IEC 61377- 2	Electric traction – Rolling stock- combined testing for chopper & DC modules / Tracción eléctrica: material rodante: pruebas combinadas para helicópteros y módulos de CC

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

IEC 61377- 3	Electric traction – Rolling stock- combiner testing for two stage inverter & AC modules / Tracción eléctrica: material rodante: pruebas de combinador para inversores de dos etapas y módulos de CA
IEC 61881	Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics / Aplicaciones ferroviarias – Material rodante – Condensadores para electrónica de potencia
IEC 62290-1	Railway applications – Urban Guided Transport Management and Command/Control; Systems Part 2: Functional Requirements Specifications / Aplicaciones ferroviarias – Gestión y Mando/Control del Transporte Urbano Guiado; Sistemas Parte 2: Especificaciones de requisitos funcionales
IEC 62267-1	Applications ferroviaires – Transports guidés urbains automatiques (AUGT), safety requirement / Aplicaciones ferroviarias – modos de transportes automáticos guiados (AUGT), requisitos de seguridad
IEC 1133	Electric traction – rolling stock / tracción eléctrica – material rodante
UIC 512	Condition to be fulfilled in order to avoid difficulties in operation of track circuits and treadles / Condición que debe cumplirse para evitar dificultades en el funcionamiento de los circuitos de vía y los pedales
UIC 513	Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles / Directrices para evaluar el confort de los pasajeros en relación con las vibraciones en los vehículos ferroviarios
UIC 515	Coaches – Running gear / coches – tren de rodaje
UIC 515-4	Passenger rolling stock – Trailer bogies – Running gear – Bogiframe structure strength tests / Material rodante de pasajeros – Bogies de remolque – Tren de rodadura – Pruebas de resistencia de la estructura del bogíframe
UIC 518	Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior – Safety – Track fatigue – Ride quality / Ensayos y homologación de vehículos ferroviarios desde el punto de vista de su comportamiento dinámico – Seguridad – Fatiga de vía – Calidad de marcha
UIC 533	Protection by the earthing of metal parts of vehicles / Protección por puesta a tierra de partes metálicas de vehículos
UIC 541-3	Freno con disco y pastillas de freno a disco

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

UIC 553	Heating, ventilation and air-conditioning in coaches / Calefacción, ventilación y aire acondicionado en trenes
UIC 555	Equipos de iluminación eléctrica
UIC 564-2	Regulations relating to fire protection and firefighting measures in passenger carrying railway vehicles or assimilated vehicles used on international services / Reglamento relativo a las medidas de protección y extinción de incendios en los vehículos ferroviarios de transporte de pasajeros o vehículos asimilados utilizados en servicios internacionales
UIC 565-3	Indications for the layout of coaches suitable for conveying disabled passengers in their wheelchairs / Indicaciones para la distribución de coches aptos para el transporte de pasajeros discapacitados en sus sillas de ruedas
UIC 566	Solicitud de la carrocería del coche y de sus accesorios
UIC 615-4	Motive power units – Bogies and running gear – Bogiframe structure strength tests / Unidades de fuerza motriz – Bogies y trenes de rodaje – Ensayos de resistencia de la estructura Bogiframe
UIC 617-3	Regulations concerning the position, type and direction of operation of the main control equipment on electric tractive stock / Reglamento relativo a la posición, tipo y sentido de funcionamiento del equipo principal de control del material de tracción eléctrica
UIC 617-7	Regulations concerning conditions of visibility from driving compartments of electric powered stock / Normas relativas a las condiciones de visibilidad desde el habitáculo de conducción del material de propulsión eléctrica
UIC 651	Layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers / Disposición de las cabinas de conducción en locomotoras, automotores, trenes de unidades múltiples y remolques de conducción
UIC 648	Connections for electric cable and air pipes on headstocks of locomotives and driving trailers. / Conexiones para cable eléctrico y conductos de aire en cabezales de locomotoras y remolques tractores.
UIC 811-1	Technical specification for the supply of axles for tractive and trailing stock / Especificación técnica para el suministro de ejes para material tractor y remolcado
UIC 812 series	Technical specification for the supply of wheels / Especificación técnica para el suministro de ruedas
UIC 842	Especificación técnica de ejecución para la protección contra la corrosión y de la pintura de los coches

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

UIC 895	Technical specification for the supply of insulated electric cables / Especificación técnica para el suministro de cables eléctricos aislados
UIC 897-11	Technical specification for the acceptance of welders for fusion welding of steels / Especificación técnica para la aceptación de soldadores para soldadura por fusión de aceros
NF E 90 401-2	Vibrations and shocks - vibrations exposure of the human - part 2 / Vibraciones y choques - exposición a vibraciones del ser humano - parte 2
NF F 00 800	Railway applications – Rolling Stock – Definition of homologation procedures of products – General rules / Aplicaciones ferroviarias – Material Rodante – Definición de procedimientos de homologación de productos – Normas generales
NF F 19 141-1	Railway applications – Rolling Stock – Protection and decoration by paint of the vehicle structure and their constituent parts - Part 1: general provisions / Aplicaciones ferroviarias. Material rodante. Protección y decoración mediante pintura de la estructura del vehículo y sus partes constituyentes. Parte 1: Disposiciones generales.
NF F 19 141-2	Railway applications – Rolling Stock – Protection and decoration by paint of the vehicle structure and their constituent parts - Part 2: description and use of painting systems (with the exception of wagons). / Aplicaciones ferroviarias – Material Rodante – Protección y decoración mediante pintura de la estructura del vehículo y sus partes constituyentes - Parte 2: descripción y uso de los sistemas de pintura (a excepción de los vagones).
NF F 19 201	Railway applications – Rolling Stock – Painting products, marks and inscriptions – General requirements and testing methods of homologation procedures of products – General rules. / Aplicaciones ferroviarias – Material rodante – Productos de pintura, marcas e inscripciones – Requisitos generales y métodos de ensayo de los procedimientos de homologación de productos – Normas generales.
NF F 31 112	Railway applications – Rolling Stock – Graffiti protection - Tests procedures and evaluation methods of materials and products of elimination. / Aplicaciones ferroviarias – Material Rodante – Protección de pintadas - Procedimientos de ensayo y métodos de evaluación de materiales y productos de eliminación.
NF F 31 119	Railway applications – Rolling Stock – Seats, from the point of view of their static behavior, fatigue, vibration and shock. / Aplicaciones ferroviarias – Material Rodante – Asientos, desde el punto de vista de su comportamiento estático, fatiga, vibración y choque.
NF F 31 129	Railway applications – Rolling Stock – Toughened safety - glass panels / Aplicaciones ferroviarias – Material rodante – Seguridad reforzada - Paneles de vidrio
NF F 31 250	Railway applications – Rolling Stock – Laminated glasses / Aplicaciones ferroviarias – Material rodante – Vidrios laminados



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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

NF F 61 010	Railway applications – Rolling Stock – Cable rules for application and mechanical fixations / Aplicaciones ferroviarias – Material Rodante – Reglas de cables para aplicación y fijaciones mecánicas
NF F 63 808	Railway Rolling Stock – Halogen free, electrical conductors and cables with thin insulation and protective layers / Material rodante ferroviario: conductores y cables eléctricos libres de halógenos con capas finas de aislamiento y protección
NF C 32-080	Guide d'emploi des câbles harmonisés à basse tension / Guía para el uso de cables de baja tensión armonizados
NF X 35 002	Anthropometric model for males and females standards for working post definition and requirements / Modelo antropométrico de estándares masculinos y femeninos para la definición y requisitos del puesto de trabajo
EN 287-1	Qualification test of welders - Fusion welding - Part1: Steels / Prueba de calificación de soldadores - Soldadura por fusión - Parte 1: Aceros
EN 288-3	Specification and approval of welding procedures for metallic materials / Especificación y aprobación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos
EN 485-1	Aluminium and aluminium alloys - Sheet, strip and plate - Part 1: Technical conditions for inspection and delivery / Aluminio y aleaciones de aluminio. Hojas, tiras y placas. Parte 1: Condiciones técnicas de inspección y entrega.
EN 485-2	Aluminium and aluminium alloys - Sheet, strip and plate - Part 2: Mechanical properties / Aluminio y aleaciones de aluminio. Hojas, tiras y placas. Parte 2: Propiedades mecánicas.
EN 485-3	Aluminium and aluminium alloys - Sheet, strip and plate - Part 3: Tolerances on dimensions and form for hot-rolled products / Aluminio y aleaciones de aluminio. Hojas, flejes y chapas. Parte 3: Tolerancias en las dimensiones y la forma de los productos laminados en caliente.
EN 485-4	Aluminium and aluminium alloys - sheet, strip and plate - part 4: tolerances on shape and dimensions for cold-rolled products / Aluminio y aleaciones de aluminio - láminas, tiras y placas - parte 4: tolerancias de forma y dimensiones para productos laminados en frío
EN 486	Aluminium and aluminium alloys - Extrusion ingots – Specifications / Aluminio y aleaciones de aluminio - Lingotes de extrusión - Especificaciones
EN 573-1	Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 1: Numerical designation system / Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos forjados. Parte 1: Sistema de designación numérica.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

EN 573-2	Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 2: Chemical symbol based on designation system / Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos forjados. Parte 2: Símbolo químico basado en el sistema de designación.
EN 573-3	Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition and form of products / Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos forjados. Parte 3: Composición química y forma de los productos.
EN 573-4	Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 4: Forms of products / Aluminio y aleaciones de aluminio. Composición química y forma de los productos forjados. Parte 4: Formas de los productos.
EN 586-2	Aluminium and aluminium alloys - Forgings - Part 2: Mechanical properties and additional property requirements / Aluminio y aleaciones de aluminio - Piezas forjadas - Parte 2: Propiedades mecánicas y requisitos de propiedades adicionales
EN 755-1	Aluminium and aluminium alloys- Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 1: Technical conditions for inspection and delivery / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 1: Condiciones técnicas de inspección y entrega.
EN 755-2	Aluminium and aluminium alloys - Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 2: Mechanical properties / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 2: Propiedades mecánicas.
EN 755-3	Aluminium and aluminium alloys - Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 3: Round bars, tolerances on dimensions and form / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 3: Barras redondas, tolerancias en las dimensiones y la forma.
EN 755-4	Aluminium and aluminium alloys - Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 4: Square bars, tolerances on dimensions and form / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 4: Barras cuadradas, tolerancias en las dimensiones y la forma.
EN 755-5	Aluminium and aluminium alloys - Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 5: Rectangular bars, tolerances on dimensions and form / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 5: Barras rectangulares, tolerancias en dimensiones y forma.
EN 755-6	Aluminium and aluminium alloys - Extruded rod/bar, tube and profiles - Part 6: Hexagonal bars, tolerances on dimensions and form / Aluminio y aleaciones de aluminio. Varilla/barra, tubo y perfiles extruidos. Parte 6: Barras hexagonales, tolerancias en dimensiones y forma.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

EN 779	Particulate air filters for general ventilation — Determination of the filtration performance / Filtros de partículas de aire para ventilación general. Determinación del rendimiento de filtración.
EN 894-2	Safety of machinery - Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators - Part 2: Displays / Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y actuadores de control. Parte 2: Visualizadores.
EN 894-3	Safety of machinery - Ergonomics requirements for the design of displays and control actuators - Part 3: Control actuators / Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de visualizadores y actuadores de control. Parte 3: Actuadores de control.
EN 10020	Definition and classification of grades of steel / Definición y clasificación de grados de acero.
EN 10027-1	Designation systems for steels - Part 1: Steel names / Sistemas de designación para aceros - Parte 1: Nombres de acero
EN 10027-2	Designation systems for steels - Part 2: Steel numbers / Sistemas de designación para aceros - Parte 1: Numero de acero
EN 10088-1	Stainless steels - Part 1: List of stainless steels / Aceros inoxidables - Parte 1: Lista de aceros inoxidables
EN 10088-2	Stainless steels - Part 2: Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes / Aceros inoxidables - Parte 2: Condiciones técnicas de entrega de láminas/placas y tiras de aceros resistentes a la corrosión para usos generales
EN 10088-3	Stainless steels - Part 3: Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for general purposes / Aceros inoxidables. Parte 3: Condiciones técnicas de entrega de productos semiacabados, barras, alambrones, alambres, perfiles y productos brillantes de aceros resistentes a la corrosión para usos generales.
EN 10204	Metallic products - Types of inspection documents / Productos metálicos - Tipos de documentos de inspección
EN 12080	Railway applications. Axleboxes. Rolling bearings. / Aplicaciones ferroviarias. Cajas de eje. Rodamientos.
EN 12081	Railway applications. Axleboxes. Lubricating greases / Aplicaciones ferroviarias. Cajas de eje. Grasas lubricantes
EN 12082	Railway applications. Axle boxes. Performance testing / Aplicaciones ferroviarias. Cajas de ejes. Pruebas de rendimiento
EN 12258-1	Aluminium and aluminium alloys. Terms and definitions. General terms / Aluminio y aleaciones de aluminio. Términos y definiciones. Términos generales

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

EN 12600	Glass in Building. Pendulum test. Impact test method and classification for flat glass.
EN 12663	Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies
EN 12665	Light and lighting. Basic terms and criteria for specifying lighting requirements
EN 13032 Series	Light and Lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires
EN 13103/04	Railway applications. Wheelsets and bogies. Non-powered/Powered axles. Design method.
EN 13260	Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheelsets. Product requirements
EN 13261	Railway applications. Wheelsets and bogies. Axles. Product requirements
EN 13262	Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheels. Product requirements
EN 13272	Railway applications. Electrical lighting for rolling stock in public transport systems
EN 13298	Railway applications. Suspension components. Helical suspension springs, steel
EN 13452-1	Railway applications – Breaking – Mass Transit Brake Systems – Part 1: Performance requirements
EN 13452-2	Railway applications – Breaking – Mass Transit Brake Systems – Part 2: Method of Tests
EN 13749	Method of specifying the structural requirements of bogiframes
EN 13802	Railway applications – Suspension components - Hydraulic dampers
EN 13913	Railway applications - Rubber suspension components - Elastomeric-based mechanical parts
EN 13979-1	Railway applications. Wheelsets and bogies. Monobloc wheels. Technical approval procedure. Forged and rolled wheels.
EN 14363	Testing of running behaviour and stationary tests

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

EN 14750-1	Railway applications. Air conditioning for urban and suburban rolling stock – Part 1: Comfort parameters / Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para material rodante urbano y suburbano – Parte 1: Parámetros de confort
EN 14750-2	Railway applications - Air conditioning for urban and suburban rolling stock – Part 2: Type tests / Aplicaciones ferroviarias. Aire acondicionado para material rodante urbano y suburbano. Parte 2: Ensayos de tipo.
EN 14752	Railway applications. Body entrance systems / Aplicaciones ferroviarias. Sistemas de entrada al cuerpo
EN 15085	Railway Applications. Welding of Railway Vehicles and Components / Aplicaciones ferroviarias. Soldadura de Vehículos y Componentes Ferroviarios
EN 15152	Railway Applications. Front windscreens / Aplicaciones ferroviarias. Parabrisas delantero
EN 15227	Railway Applications. Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies / Aplicaciones ferroviarias. Requisitos de resistencia a choques para carrocerías de vehículos ferroviarios
EN 15595	Railway Applications – Braking – Wheel Slide Protection / Aplicaciones ferroviarias – Frenado – Protección contra deslizamiento de ruedas
EN 15610	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on tested welding consumables / Especificación y cualificación de procedimientos de soldadura de materiales metálicos. Cualificación basada en consumibles de soldadura probados
EN 15614-1	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys / Especificación y cualificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos - Prueba de procedimiento de soldadura - Parte 1: Soldadura por arco y gas de aceros y soldadura por arco de níquel y aleaciones de níquel
EN 15614-2	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials - Welding procedure test - Part 2: Arc welding of aluminium and its alloys / Especificación y cualificación de procedimientos de soldadura para materiales metálicos - Ensayo de procedimiento de soldadura - Parte 2: Soldadura por arco de aluminio y sus aleaciones
EN 15663	Railway Applications. Definition of vehicle reference masses / Aplicaciones ferroviarias. Definición de masas de referencia del vehículo
CEN/TS 45545 all parts	Fire protection of railway vehicles / Protección contra incendios de vehículos ferroviarios

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

EN 50121 series	Railways applications – Electromagnetic Compatibility / Aplicaciones ferroviarias – Compatibilidad electromagnética
EN 50124-1	Railway applications - Insulation coordination - Part 1: Basic requirements - Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment / Aplicaciones ferroviarias - Coordinación de aislamiento - Parte 1: Requisitos básicos - Distancias de fuga y distancias de fuga para todos los equipos eléctricos y electrónicos
EN 50124-2	Railway applications - Insulation coordination - Part 2: Overvoltages and related / Aplicaciones ferroviarias - Coordinación de aislamiento - Parte 2: Sobretensiones y afines
EN 50126	Railway applications – The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) / Aplicaciones ferroviarias: especificación y demostración de confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS)
EN 50128	Railway applications – Communication, signaling and processing systems – Software for railway control and protection systems / Aplicaciones ferroviarias – Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento – Software para sistemas de protección y control ferroviario
EN 50132-7 : 2011	Alarm systems – CCTV surveillance systems for use in security applications – Part 7: Application guidelines. / Sistemas de alarma – Sistemas de vigilancia CCTV para uso en aplicaciones de seguridad – Parte 7: Directrices de aplicación.
EN 50153	Railway applications – Rolling Stock – Protective provisions relating to electrical hazards / Aplicaciones ferroviarias – Material rodante – Disposiciones de protección relativas a riesgos eléctricos
EN 50155	Railway applications – Electronic Equipment used on Rolling Stock / Aplicaciones ferroviarias – Equipos electrónicos utilizados en material rodante
EN 50163	Railway applications – Supply voltages of traction systems / Aplicaciones ferroviarias: tensiones de alimentación de los sistemas de tracción
EN 50207	Railway applications - Electronic power converters for rolling stock / Aplicaciones ferroviarias - Convertidores electrónicos de potencia para material rodante
EN 50215	Railway applications - Testing of rolling stock after completion of construction and before entry into service / Aplicaciones ferroviarias - Pruebas de material rodante después de la finalización de la construcción y antes de la entrada en servicio
EN 50261	Railway applications - Mounting of electronic equipment /

	Aplicaciones ferroviarias - Montaje de equipos electrónicos
EN 50306-1	Railway applications - Railway rolling stock cables having special fire performance; Thin wall - Part 1: General requirements / Aplicaciones ferroviarias - Cables para material rodante ferroviario con comportamiento especial frente al fuego; Pared delgada - Parte 1: Requisitos generales
EN 50306-2	Railway applications - Railway rolling stock cables having special fire performance; Thin wall - Part 2: Single core cables / Aplicaciones ferroviarias - Cables para material rodante ferroviario con comportamiento especial frente al fuego; Pared delgada - Parte 2: Cables unipolares
EN 50306-3	Railway applications - Railway rolling stock cables having special fire performance; Thin wall - Part 3: Single core and multicore cables (pairs, triples and quads) screened and thin wall sheathed / Aplicaciones ferroviarias - Cables para material rodante ferroviario con comportamiento especial frente al fuego; Pared delgada - Parte 3: Cables unipolares y multiconductores (pares, triples y cuádruples) apantallados y con revestimiento de pared delgada
EN 50306-4	Railway applications - Railway rolling stock cables having special fire performance; Thin wall - Part 4: Multicore and multipair cables standard wall sheathed / Aplicaciones ferroviarias - Cables para material rodante ferroviario con comportamiento especial frente al fuego; Pared delgada - Parte 4: Cables multiconductores y multipar con revestimiento de pared estándar
EN 50343	Railway applications - Rolling stock - Rules for installation of cabling / Aplicaciones ferroviarias - Material rodante - Normas para la instalación de cableado
EN 50392	Generic standard to demonstrate the compliance of electronic and electrical apparatus with the basic restrictions related to human exposure to electromagnetic fields (0 GHz – 300 GHz) / Norma genérica para demostrar el cumplimiento de los aparatos electrónicos y eléctricos con las restricciones básicas relacionadas con la exposición humana a campos electromagnéticos (0 GHz – 300 GHz)
EN 50 500	Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure / Procedimientos de medida de los niveles de campo magnético generados por aparatos electrónicos y eléctricos en el entorno ferroviario con respecto a la exposición humana
EN 55011	Conducted Emissions, Radiated Emissions / Emisiones conducidas, emisiones radiadas
EN 60529	Degrees of protection provided by enclosures (IP code) / Grados de protección proporcionados por envoltentes (código IP)
EN 61373	Railway applications Rolling stock equipment shock and vibration test /

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

Aplicaciones ferroviarias Prueba de choque y vibración de equipos de material rodante

Otros estándares :

- National Fire Protection Association (NFPA);
- International Special committee on Radio Interface (CISPR);
- European standard (EN) for Electromagnetic compatibility;
- American National Standards Institute (ANSI);
- American Society of Heating, Refrigeration and air conditioning Engineers, Inc (ASHRAE);
- American Society for Testing and Materials (ASTM);
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).



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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

### 2.2.17.2 REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ

<b>Entregable de referencia:</b>	Entregable 6 – Prediseño geométrico del trazado   Definición estructura Metro ferroviarias Entregable 10–Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación Entregable 11 –CAPEX, OPEX y Cronograma del Proyecto Entregable 12 - Análisis Beneficio Costo	
<b>Actividades desarrolladas en el marco del estudio de prefactibilidad:</b>	La principal hipótesis adoptada en el estudio de prefactibilidad para el material rodante es replicar las características del material rodante de la Línea 1 del metro de Bogotá (mismo gálibo, mismas dimensiones, mismos parámetros).  Se analizó si el material rodante pudiera atender las necesidades de tráfico de pasajeros de la L2MB en términos de PPHPD a distintos plazos. El análisis también se realizó considerando una configuración de trenes con +1 y -1 vagón.	
<b>Conclusiones del estudio de prefactibilidad:</b>	El análisis muestra que el material rodante utilizado para la primera línea podría ser adecuado para la segunda línea. La longitud y capacidad del material rodante se encuentran adecuadas para atender el PPHPD, tomando en cuenta intervalos aceptables asociados al objetivo UTO del proyecto.	
<b>Ítem</b>	<b>Aspectos relevantes</b>	<b>¿Cómo atenderlos en el marco de la asesoría técnica?</b>
<b>Entregable 6 – Prediseño geométrico del trazado  Definición estructura Metro ferroviarias</b>		
<b>Características del material rodante (p.13)</b>	Sólo se enumeran algunos parámetros para el material rodante	Antes de la fase de licitación, se deben especificar algunos parámetros adicionales (sobrecosto de vía, velocidad del viento, lagunas tolerada...), y los indicados en el estudio de prefactibilidad deben verificarse tomando en cuenta las soluciones reales de material rodante (parte del capítulo 3).

<b>Gálidos (p.15)</b>	Las hipótesis consideradas para el material rodante son las mismas que las de la Línea 1.	Después del análisis del material rodante de la línea 1, se seleccionarán los parámetros a modificar para abrir el mercado a varios competidores.
<b>Gálidos (p.15)</b>	Los gálidos estático y cinemático que se presentan corresponden al material rodante de la Línea 1. Los parámetros utilizados para el cálculo de estos gálidos no se encuentran detallados.	Se tendrá que definir una especificación de gálido que permita maximizar la competencia con los proveedores, manteniendo en el caso que sea relevante una compatibilidad del material rodante entre la línea 1 y la línea 2.
<b>Entregable 10 – Propuesta de integración de Sistemas infraestructura Metro ferroviarias   Informe de Sistemas y Operación</b>		
<b>Material Rodante (P.18)</b>	Algunas cargas de los trenes se dan como hipótesis y los valores están en el límite del 16 ton/eje con carga excepcional de 8 pasajeros/m <sup>2</sup> .	Este valor de 16 ton/eje no corresponde con las normas de los fabricantes y puede ser una traba en el objetivo de maximizar la competencia entre proveedores. Las tareas de diseño del material rodante permitirán definir y confirmar los valores que deben especificarse. Un valor de carga demasiado bajo limitaría la competición entre proveedores y un valor de carga demasiado alto tendrá que ser absorbido por el diseño de la infraestructura.
<b>Material Rodante (P.18)</b>	Se indican algunos parámetros de resistencia al movimiento.	Se realizará una evaluación comparativa del "estado del arte" para revisar estos valores y ofrecer una solución más eficiente en términos de rendimiento y de ahorro energético.
<b>Material Rodante (P.19)</b>	Se presentan hipótesis para calcular el tiempo necesario para embarcar y desembarcar en cada estación. Las hipótesis son claras, pero los cálculos del tiempo de parada parecen optimistas. El resultado del tiempo total para una vuelta completa podría ser demasiado bajo y el cálculo de la flota podría ser demasiado optimista.	Se realizará un cálculo más exacto del flujo de pasajeros para asegurar el tiempo de embarque/desembarque y, por tanto, el tiempo total de parada en la estación, el tiempo necesario para dar una vuelta completa y, a continuación, el cálculo de la flota. Este estudio será útil para el diseño de las estaciones (dimensionamiento de los andenes).

<b>Capítulo 15 (p.61)</b>	No se ha definido ningún contexto normativo para la definición del material rodante (normas de la UE o normas de EE.UU. u otras).	Se realizará una evaluación comparativa de las principales normas para el material rodante, con el fin de abrir la licitación a diferentes competidores, garantizando al mismo tiempo un buen nivel de calidad.
	El flujo de pasajeros no corresponde con lo utilizado para los cálculos del tiempo necesario para embarcar y desembarcar en cada estación.	Se requerirá alinear las hipótesis del material rodante y las limitaciones de la explotación/flota.
	Está escrito que el gálibo del material rodante debe ser el mismo que el de la línea 1.	Como mencionado anteriormente, se deberá especificar el gálibo cinemático máximo y abrir el debate sobre algunos parámetros para abrir el mercado.
	No se define ninguna zona de pasajeros con movilidad reducida (PMR).	Se consideran 2 espacios para PMR por tren en la PLMB y los cálculos de capacidad nominal se hacen sin ellos. Este punto debe confirmarse antes de la redacción de las especificaciones técnicas para la licitación. Si no existe una normativa en Colombia sobre este aspecto, se podrá proponer varias soluciones basadas en la experiencia de Movius.
	Está escrito que la potencia máxima del tren es de 5.000 kW.	Este valor debe ser asegurado y eventualmente cuestionado por razones de sostenibilidad. Basándonos en nuestras experiencias anteriores, se confirmarán las potencias de tracción y auxiliares por tren de tal manera que se pueda optimizar el dimensionamiento de las subestaciones.
	Se definen 2 niveles de adherencia, y no se da información sobre los rendimientos a alcanzar en los modos degradados.	Este punto debe aclararse en el marco de la asesoría técnica.
	No se especifica el nivel de confort a alcanzar (climatización, iluminación, estanqueidad, etc.).	Basándonos en nuestras experiencias anteriores, se propondrán varias soluciones con ventajas, desventajas y costo objetivo.

		El nivel de opciones debe aclararse en el marco de la asesoría técnica.
<b>Requisitos para la Integración con la PLMB T1 (p.64-68)</b>	Se pide que haya compatibilidad entre la línea 2 y la línea 1 para el material rodante.	Se debe aclarar esta exigencia y definir claramente los parámetros sensibles (por ejemplo, las distancias entre puertas). De manera general, se tendrá que evaluar las ventajas y desventajas de desarrollar y/o mantener especificaciones similares a las de la PLMB frente al objetivo de maximizar la competencia entre proveedores. Cabe precisar que la PLMB y la L2MB no contarán con una conexión física. En este sentido, no se debe contemplar la interoperabilidad entre los trenes de la PLMB y de la L2MB desde el punto de vista de la operación de las dos líneas (sabiendo además que la PLMB se encuentra concesionada) sino al nivel de una estrategia a largo plazo de asset management o de gestión de activos.
<b>Capítulo 16</b>	Se presenta información de alto nivel sobre los sistemas de comunicación de los trenes, pero sin precisar detalles.	A partir de nuestras experiencias anteriores, se deberá definir el nivel de equipamiento/servicio a bordo y aclarar el alcance del suministro de cada grupo de trabajo.
<b>Entregable 11 – CAPEX, OPEX y Cronograma del Proyecto</b>		
	El CAPEX se calcula para la flota de 26 trenes + un simulador sin más información.	No se ha podido identificar la fuente (o proyectos) asociada para la definición de los costos precisados en el estudio de prefactibilidad. La asesoría técnica tendrá que definir una lista de parámetros que permitirán afinar los costos asociados al componente de material rodante del proyecto incluyendo costos recurrentes y no recurrentes, desarrollo y validación de la composición de los trenes, perímetros de subsistemas asociados, etc.

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

E2 - DEBIDA DILIGENCIA TÉCNICA – L2MB-0000-000-MOV-DP-GEN-IN-0001 \_VF

	El OPEX está definido, pero los aspectos asociados al material rodante no están claros.	La asesoría técnica tendrá como objetivo la transformación precisa de necesidades asociadas al componente técnico en costos OPEX.
<b>Aspectos críticos por atender:</b>	<b>A corto plazo para el desarrollo de las actividades de ingeniería conceptual (Aval Técnico y Fiscal – Fase 2):</b>	<b>A mediano plazo para el desarrollo de las actividades de Estudios y Diseños para la Estructuración (Fase 3):</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confirmar la hipótesis del material rodante principal</li> <li>- Validar el tiempo de parada y el dimensionamiento de la flota</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Seleccionar y definir las principales requerimientos y transformarlas en requisitos para el material rodante</li> <li>- Proponer soluciones que cubran las necesidades, pero abriendo la competencia entre los fabricantes de material rodante</li> <li>- Confirmar el nivel de equipamiento y las principales funciones que se llevarán a cabo en el tren</li> </ul>
<b>Interfaces:</b>	Aclarar las interfaces con todos los grupos de trabajo y compartir todas las hipótesis y el alcance del suministro	
<b>CAPEX y OPEX</b>	Se tendrá que precisar los costos del componente del material rodante a la luz de proyectos de magnitud similar y considerando la organización del proyecto entre subsistemas.	
<b>Otros aspectos relevantes:</b>		

### 2.2.17.3 ASPECTOS RELEVANTES ASOCIADOS A LA PRIMERA LINEA DEL METRO DE BOGOTÁ

Este análisis está enfocado en el documento "Especificaciones funcionales y técnicas del Material Rodante - ETPLMB-ET16-L01-ETE-J-0001\_R0". A este nivel del proyecto, se está plasmando la hipótesis o la oportunidad de reutilizar al máximo los requisitos del material rodante definidos de la PLMB para la L2MB.

Los principales datos del material rodante extraídos de la especificación PLMB son los siguientes:

Características	Dados
1. Tipo de material rodante	Metro
2. Tipo de operación	Automática con CBTC
3. Localización de la línea	Bogotá L1
4. Número de coches por tren	6 o 7
5. Configuración de los trenes	MC-T-M-M-T-MC (configuración con 6 coches) MC-T-M-M-M-T-MC (configuración con 7 coches)
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: 306, T/M: 290 (configuración con 6 coches) Mc: 268, T/M: 253 (configuración con 7 coches)
6.3. Asientos por coche (px)	Mc: 44, T/M: 44 (configuración con 6 coches) Mc: 36, T/M: 36 (configuración con 7 coches)
6.4. Pasajeros de pie (px)	Mc: 262, T/M: 246 (configuración con 6 coches) Mc: 232, T/M: 217 (configuración con 7 coches)
7. Dimensiones generales	
7.1. longitud del tren	140 m
7.2. longitud de los coches	20m a 23m
7.3. altura de los coches	3,89m
7.4. Anchura de los coches	2,9m
7.5. Distancia del pivote del bogí	12,6m
7.6. Distancia entre ejes	2,1m
7.7. Altura del piso	1100mm 0/+50mm
7.8. altura del enganche	indefinido
7.9. Ancho de vía	1435mm

7.10. 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	1600mmx1900mm
8.3. Distancia de las puertas	indefinido
9. Carga máxima por eje	15ton /eje máximo
10. Alimentación	750 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	0,9 m/s <sup>3</sup>

### 2.2.17.3.1 Parte de la especificación que debe adaptarse debido al contexto de la línea 2

Se presenta en este capítulo la lista de actividades que hay que verificar, aclarar y actualizar para la L2MB considerando el pliego de condiciones de la PLMB y los parámetros iniciales presentados en el estudio de prefactibilidad de la L2MB.

Las especificaciones de la PLMB dejaron a los fabricantes la opción de proponer configuraciones con 6 o 7 vagones.

En esta fase, recomendamos dejar la especificación tal y como está. Esto permitirá la competencia entre los fabricantes, permitiéndoles proponer la mejor propuesta técnica al mejor costo.

Por otro lado, si se requiere la plena compatibilidad con el material rodante de la Línea 1, tal y como se sugiere en el estudio de prefactibilidad, la especificación debe ser revisada en profundidad con el fin que los proveedores puedan considerar esta compatibilidad. Por lo tanto, habría que imponer a los fabricantes algunas características como el número de vagones por tren, la distancia entre puertas, la posición de los umbrales, la posición y el tipo de enganche delantero, etc.

Además, muchos capítulos se refieren a datos de la línea 1. Para la redacción de las especificaciones de la L2MB, se deberá revisar estos parámetros para que se ajusten plenamente a las características de la L2MB. Por ejemplo, el servicio principalmente en túnel debería especificarse como una nueva característica de la infraestructura. Asimismo, deberá actualizarse la lista de interfaces.

Se precisa que los valores de la PLMB relacionados con las puertas, sus dimensiones y los flujos de pasajeros son distintos a los utilizados en el estudio de prefactibilidad. Se precisarán estos aspectos en el marco de la asesoría técnica.

El límite de masa por eje descrito en el estudio de prefactibilidad (16 ton/eje) no corresponde con lo requerido en la especificación de la PLMB (15 ton/eje). Debido a la gran capacidad de pasajeros que requiere el material rodante, la masa de pasajeros transportada es grande en comparación con el material rodante vacío, por lo que este límite de 15 ton/eje es muy restrictivo para el diseño.

Este límite puede reducir las respuestas de los fabricantes a causa de las imposibilidades tecnológicas o de los elevados costes. Algunos fabricantes tienen material rodante en este rango de capacidad de pasajeros diseñado con un límite de entre 17 y 18 ton/eje.

Sugerimos que se revise el requisito de la especificación con un límite de 17 ton/eje (con una caja de carga de 8 pasajeros/m<sup>2</sup>) para abrir el mercado entre los fabricantes. Esto debe hacerse de acuerdo con las simulaciones de tráfico y la restricción debe ser compartida con la infraestructura.

Hay varios niveles de aceleración descritos en los diferentes documentos. Estos niveles pueden influir en el coste y en el tiempo de la operación. Sugerimos mantener un nivel de 1m/s<sup>2</sup> máxima en la especificación.

### **2.2.17.3.2 Parte de las especificaciones que podrían optimizarse**

Esta sección presenta la lista de actividades que pueden optimizarse para mejorar el pliego de condiciones.

La lista de normas solicitadas puede actualizarse con respecto al estado del arte y actualizarse con respecto a las últimas revisiones. En el caso de los requisitos sobre fuego y humo, el tema debería aclararse en el pliego completo y la referencia a las antiguas normas nacionales (NFF, DIN, BS etc) debería sustituirse por la EN 45545 o la NFPA 130, que están más en línea con las propuestas de los fabricantes.

Algunos temas técnicos podrían mejorarse en el pliego de condiciones:

- La aplicación de los diferentes casos de carga de pasajeros debería aclararse para cada cálculo de rendimiento. El caso de carga EL8 se utiliza para algunos temas y el EL10 para otros.
- Los requisitos de iluminación son muy brillantes y podrían generar un mal confort, sería costoso y generaría un mayor consumo de energía. Se puede revisar.
- El coeficiente de balanceo puede no ser compatible con el gálibo necesario. El valor debe ser asegurado.
- El nivel de confort en la dinámica y las vibraciones puede especificarse de manera más detallada.



#### **2.2.17.4 REVISIÓN DE EXPERIENCIAS INTERNACIONALES Y APLICACIÓN AL CASO DE LA LÍNEA 2 DEL METRO DE BOGOTÁ**

Esta sección pretende ofrecer un conjunto de retorno de la experiencia acumulada por Systra en la ingeniería del material rodante a lo largo de los años. El método presentado identifica las lecciones aprendidas durante distintas etapas de licitación, de diseño, de construcción, de pruebas y de puesta en servicio, de operación y de mantenimiento en proyectos “similares”.

Debido al acuerdo de confidencialidad firmado previamente con nuestros clientes, no se facilitará el nombre de las líneas, la ubicación y los fabricantes, ni ningún otro detalle que pueda permitir identificar la fuente de información.

##### **2.2.17.4.1 Metodología**

Este análisis implica un enfoque de cinco pasos:

- Evaluar las bases referenciales de la Línea 1 de Bogotá.
- Definir el proyecto adecuado.
- Evaluar las lecciones aprendidas en el proyecto.
- Identificar cómo se aplica en el contexto y cómo se mitigaría los problemas que podrían surgir en un proyecto de nueva línea.
- Revisar los problemas identificados y otras posibles soluciones.

##### **2.2.17.4.2 Definición de proyectos adecuados para la evaluación comparativa**

Se han identificado cinco proyectos en los que Systra ha participado como ingeniero o consultor. Todos ellos son proyectos recientes en el GdA4 que se han puesto en marcha o están todavía en curso. Algunos de los procesos presentados aquí, como la Gestión de Interfaces, ya han sido propuestos para el Proyecto de Bogotá. Otros procesos, como el Diálogo Competitivo, no se aplican en su totalidad debido a la legislación local, pero algunos del Retorno de la Experiencia pueden ser llevados a cabo. El objetivo no es presentar los procesos aplicables a este Proyecto, sino el estado del arte utilizado en el extranjero.

##### **2.2.17.4.4 Project FR02**

###### **2.2.17.4.4.1 Evaluación de lecciones aprendidas – Proceso de gestión de interfaces**

La gestión y el control de las interfaces se describen brevemente en el documento "Anexo 6 - Especificaciones generales del servicio, Apéndice 1 - Componente técnico, Adenda 2". El proceso descrito en este apartado es el que Systra ha puesto en marcha en el proyecto FR02.

El proceso de gestión de interfaces desplegado en el proyecto FR02 ayudó a diseñar y controlar el desarrollo de sistemas y subsistemas. El flujo de trabajo del proceso se divide en tres tareas principales: los datos de entrada, las actividades del proceso y los resultados.

Las entradas: se accede a ellas para comprender y abordar las interfaces.

El primer paso es analizar cada sistema (por ejemplo: vía, suministro de energía, etc.) y subsistema (por ejemplo: tracción, energía auxiliar, HVAC, etc.) para determinar dónde existen las interfaces. En segundo lugar, se definen los límites físicos (por ejemplo, la envoltura del espacio, el peso, etc.) y los componentes en los que existen interfaces. El tercer paso consiste en designar a la parte interesada (material rodante, señalización, obras civiles, etc.) y el alcance (por ejemplo: definición, compra, instalación, pruebas, etc.) de cada interfaz. El último paso es la evaluación detallada de los requisitos funcionales (por ejemplo, software, suministro de energía, etc.) y físicos (por ejemplo, instalación mecánica, conectores, etc.) de la interfaz.

Las actividades del proceso: identifican, documentan y mantienen las interfaces externas e internas.

El proceso establece los procedimientos de las interfaces (por ejemplo: plan de gestión de interfaces, control de interfaces, etc.), gestiona la ejecución de las interfaces durante las fases del proyecto (por ejemplo: fases de diseño, montaje y pruebas), supervisa el control de las interfaces y garantiza la planificación. .

Los resultados incluyen principalmente la documentación de control de la interfaz que identifica la información de la interfaz y las solicitudes de cambio de la interfaz aprobadas. Estos resultados se mantienen y se acuerdan mediante el proceso de gestión de la configuración y pasan a formar parte del paquete general de datos técnicos del proyecto.

#### **2.2.17.4.4.2 Identificar cómo se aplica en el contexto y cómo se mitigarían los problemas que podrían surgir en un proyecto de nueva línea.**

El proceso de gestión de interfaces utilizado en el proyecto FR02 permite la identificación temprana de las interfaces críticas a través de un proceso estructurado que conduce a una definición temprana de los problemas con impacto potencial en el coste o en el programa de trabajo. Una vez identificados, se pueden tomar medidas para minimizar cualquier impacto negativo en el proyecto y, mediante el seguimiento de las áreas críticas, se puede abordar rápidamente el plan original y ponerlo bajo control. Este proceso de gestión de interfaces también fomenta la comunicación entre los participantes, proporcionando las limitaciones inherentes a sus respectivos alcances. La identificación de requisitos específicos y la comprensión de su importancia conducen a una cooperación más eficaz y, por tanto, a una mejora del rendimiento de la ejecución.

El enfoque descrito en el apartado anterior se aplicó con éxito en el proyecto FR02 con buenos resultados. El enfoque descendente, que parte de las interfaces del sistema (por ejemplo, el gálibo del vehículo, la carga por eje, etc.) y llega hasta las interfaces de los componentes (por ejemplo, el formato de las señales para la comunicación entre los subsistemas), evita la creación de "zonas de tierra de nadie" en las que nadie es responsable de la interfaz o en las que "todo el mundo" es responsable, lo cual es tan malo como el primer caso.

El Documento de Control de Interfaces definido en el Anexo 6, Apéndice 1, Adendo 2" se ajusta al método explicado anteriormente. El proceso identifica el alcance de los trabajos (por ejemplo: quién hace qué), las interfaces funcionales y los requisitos RAMS. Posteriormente, los documentos de nivel inferior proporcionarán una especificación completa de la interfaz que deberá ser acordada por los subsistemas interconectados (p. ej: Material rodante y comunicación).

#### **2.2.17.4.4.3 Ventajas, desventajas y conclusión**

Un proceso formal de gestión de interfaces tal y como se ha desplegado en el Proyecto FR02 y se ha definido en el "Anexo 6, Apéndice 1, Adendo 2", tiene muchas ventajas, sobre todo cuando participan numerosas partes interesadas.

Disponer de un proceso estructurado para el intercambio de información permite al equipo de gestión del proyecto controlar y solucionar inmediatamente cualquier deficiencia en cuanto se hace evidente.

Un beneficio secundario de la implantación del proceso es que fomenta una comunicación significativa entre los participantes. Cuando las partes firman el acuerdo formal, se produce un diálogo sobre la información y su entrega para llegar al acuerdo.

Promover esta comunicación entre los participantes del proyecto en las primeras fases del ciclo de diseño es importante para lograr la excelencia en la ejecución. A menudo, la información que requiere una parte interesada está mal definida, lo que hace que no se pueda llegar a la entrega. Esto conduce a conflictos dentro del equipo y da lugar a un criticismo improductivo entre las partes, en lugar de a la cooperación para garantizar que el trabajo progresa para cumplir los objetivos del programa de trabajo.

#### **2.2.17.4.5 Project ME01**

##### **2.2.17.4.5.1 Evaluación de lecciones aprendidas – gestión de requisitos**

Los requisitos son una expresión de necesidad, demanda u obligación definida en términos precisos y verificables, necesarios para la aceptación de las partes interesadas. Una gestión eficaz de los requisitos aumenta la probabilidad de éxito del proyecto.

La ingeniería de requisitos se divide en dos grandes disciplinas, Desarrollo y Gestión de requisitos. El objetivo del Desarrollo de Requisitos es identificar y acordar un conjunto de requisitos que describan las características y objetivos del proyecto. Las actividades de Gestión de Requisitos abarcan las fases iniciales (e.g.: la creación y descomposición de requisitos) y la fase de construcción (e.g.: prueba, consolidación de los requisitos).

Las siguientes directrices se utilizan para garantizar que los requisitos estén bien escritos y sean coherentes con los objetivos del proceso de gestión de requisitos

- No solucionable: el requisito expone la necesidad y no cómo se va a satisfacer.
- Singular: el requisito se refiere a una sola cosa.
- Integro: al requisito no le falta información.
- Completo: el conjunto completo de requisitos de nivel inferior satisface plenamente el requisito principal.
- Independiente: el requisito es independiente.
- Coherente: en su contenido y terminología, y no contradice ningún otro requisito.
- Trazable: el requisito está vinculado a un requisito principal o a una necesidad del cliente.
- Identificable: el requisito tiene una numeración única.
- Válido: el requisito no ha quedado obsoleto.
- Factible: el requisito puede aplicarse.
- Inequívoco: el requisito tiene una y sólo una interpretación.

- Claro: el requisito evita el uso de términos ambiguos.
- Factual: expresa hechos y no opiniones subjetivas.
- Positivo: deben evitarse las afirmaciones negativas, a menos que no haya otra alternativa para mantener el sentido del requisito.
- Verificable: el requisito está redactado de forma que cumple un requisito principal o apoya los requisitos secundarios.
- Validable: se puede demostrar que el requisito se cumple mediante un criterio definido.

#### **2.2.17.4.5.2 Identificar cómo se aplica en el contexto y cómo se mitigarían los problemas que podrían surgir en un proyecto de nueva línea.**

La gestión de requisitos es un proceso no trivial que implica todos los aspectos del proyecto, las personas y las actividades. Por lo tanto, la definición del Material Rodante deberá estar bien definida desde el principio.

El despliegue de las herramientas de gestión de requisitos mitigaría varios problemas:

- Un proceso estructurado que permite hacer un seguimiento de los requerimientos individuales y asegurarse de que cada uno de ellos tiene su propio conjunto de atributos.
- Se pone en marcha un flujo de trabajo eficiente, respetando las prácticas usuales en proyectos ferroviarios.
- Permite la colaboración entre las partes interesadas externas e internas de forma eficaz.
- Aumenta la exactitud entre los requisitos del cliente (Metro) y el resultado del proyecto (Línea).
- Ofrece una implementación para que el registro y la supervisión de los requisitos del cliente sean fácilmente comprensibles.
- Aumenta la colaboración entre las partes interesadas y, por tanto, ofrece mejores soluciones en menos tiempo.

#### **2.2.17.4.5.3 Ventajas, desventajas y conclusión**

El proceso de gestión de requisitos presenta varias ventajas para el proyecto; he aquí una lista no exhaustiva.

- Gestión y seguimiento de los requisitos, incluida la trazabilidad (garantizar el cumplimiento de los requisitos especificados en la solicitud de propuestas durante todas las fases de diseño, construcción y pruebas).
- Aumento de la productividad básica con menos retrabajo por parte de los ingenieros (el proceso implica incoherencias y contradicciones).
- El flujo de trabajo y la aprobación de los requisitos están formalizados.
- Trazabilidad de casos y escenarios de prueba.
- Reducción de los ciclos de pruebas (the lack of requirements or overspecification are avoided).
- Reducción de la carga de la gobernanza (the traceability is systematic, audits to verify the requirements are respected are not necessary).

#### **2.2.17.4.6 Project EU01**

#### 2.2.17.4.6.1 Evaluación de lecciones aprendidas – Ciclo V

El Ciclo V representa la secuencia lógica de las tareas. Los productos de material rodante, formados por varias disciplinas, mecánica, eléctrica/electrónica y software, representan un campo ideal para su aplicación.

Se han desarrollado varias variantes del Ciclo V; la que se presenta a continuación muestra las principales fases.

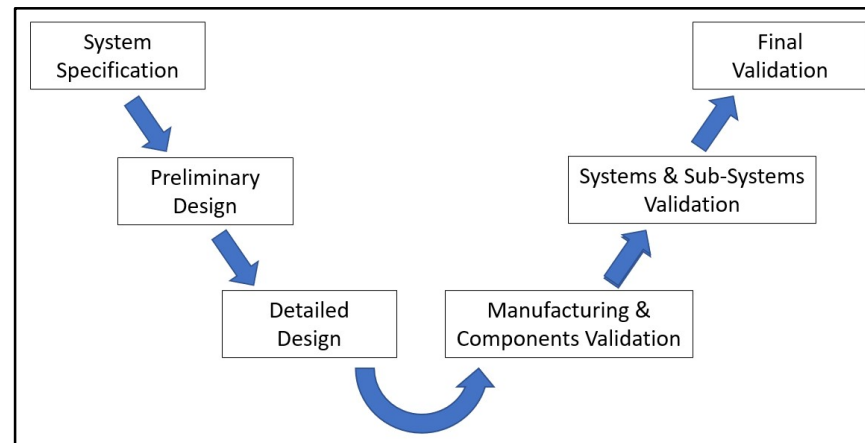


Figure 1 – Ciclo V

El símbolo de la "V" representa la descomposición del sistema en elementos. En el muslo izquierdo, la integración gradual de los componentes y subsistemas en el sistema. En el muslo derecho, su validación. Así se garantiza que el sistema "correcto" (validación) se desarrolle de la manera "correcta" (verificación).

A continuación, se detallan los resultados y las funciones y responsabilidades asociadas para cada fase del Ciclo V.

- Fase de especificación del sistema (System Specification): todas las especificaciones se definirán, acordarán y cumplirán con todos los aspectos contractuales. Se actualizarán los elementos preparados durante la fase de licitación (planificación, EDT, etc.). Se congelará la arquitectura del sistema. Se establecerán todos los planes del proyecto (plan de gestión del proyecto, plan de validación, plan de calidad, etc.).

- Fase de diseño preliminar: el diseño preliminar validará todas las especificaciones del sistema, los subsistemas y las interfaces. Los requisitos de los subsistemas se definirán en relación con los requisitos y normas funcionales, de rendimiento, medioambientales y de interfaz. Se comprometerá la selección de proveedores y socios. Se debe definir el diseño interior y exterior. Se garantizarán los objetivos de QCD.
- Fase de diseño detallado: los componentes se diseñarán para cumplir las funciones previamente definidas y, con suficiente detalle, para ser fabricados o adquiridos. El diseño se validará para que se alcancen los objetivos de QCD y se pueda iniciar la inversión para la industrialización (producción de la primera unidad con el utillaje y los proveedores definitivos). Se congelarán las interfaces y el plan de validación, y se evaluarán los procesos de operación y mantenimiento.
- Fabricación y validación de los componentes: se controlará el proceso de fabricación e instalación con herramientas y proveedores cualificados. Se realizará la inspección del primer artículo de los componentes y subsistemas. Al final de esta fase, se enviará la primera unidad para realizar las pruebas críticas.
- Validación de los sistemas y subsistemas: los procesos de servicio estarán bajo control y las pruebas críticas se realizarán con éxito. La fabricación se estabilizará y se considerará una producción en serie. Se valorarán los sistemas, subsistemas y su integración en el material rodante.
- Validación final: se validará la integración del material rodante en la red. Se cumplen todos los objetivos contractuales.

Las Gate Reviews tienen como objetivo verificar la convergencia hacia los objetivos del QCD y controlar los riesgos asociados. Las Gate Reviews representan puntos de decisión importantes en el Ciclo de vida del sistema y garantizan que las nuevas actividades no se lleven a cabo hasta que las actividades previamente programadas, de las que dependen las nuevas, se completen satisfactoriamente. Los objetivos principales de estas etapas son: garantizar que la elaboración de las líneas de base técnicas y riesgos sean aceptables y abordar las cuestiones estratégicas y financieras con la alta dirección.

#### **2.2.17.4.6.2 Identificar cómo se aplica en el contexto y cómo se mitigarían los problemas que podrían surgir en un proyecto de nueva línea.**

La metodología Ciclo V permite al contratista tener una visión clara del desarrollo del material rodante. La planificación puede asegurarse y seguirse, ya que las fases y las revisiones del diseño están claramente definidas. La principal ventaja es la asertividad del diseño, ya que los pasos de desarrollo deben ser formalizados y verificados/validados.

El pliego de condiciones definirá las fases del proyecto y las revisiones de las Gate Reviews que deberá cumplir el fabricante de material rodante. Estas tareas deben estar vinculadas con las revisiones del proyecto (semanales), las revisiones mensuales del proyecto y las revisiones del diseño (Design Review) que deben preceder a las revisiones de puerta.

#### **2.2.17.4.6.3 Ventajas, desventajas y conclusión**

El Ciclo V presenta las siguientes ventajas

- Uso sin complicaciones.
- Ahorro de tiempo.
- Seguimiento proactivo de errores.
- Diseño sencillo.

Por otro lado, el Ciclo V es muy rígido. La ejecución y los métodos, que hay que preparar de antemano, son bastante complejos en comparación con otros entornos o modelos de diseño. Además, no es muy flexible y los nuevos desarrolladores tardan en acostumbrarse a él. Como la mayoría de los fabricantes ya utilizan este tipo de proceso, no sería un problema.

### 2.2.17.5 CONCLUSIONES

En conclusión, los elementos más importantes para la continuación de los estudios son los siguientes:

- Validar que no se requiere una compatibilidad plena entre el material rodante de la Línea 2 con la Línea 1 considerando que la Línea 1 se encuentra concesionada y que no se prevé una conexión física entre las dos líneas.
- Validar que se deben contemplar y definir especificaciones técnicas que sean lo más posible abiertas de tal manera que se maximice la competición entre proveedores.

A partir de ahí, será necesario verificar ciertos parámetros dimensionales, como las características de masa y aceleración del material rodante, para abrir la competición entre fabricantes.

Asimismo, las actualizaciones de las simulaciones operativas confirmarán el tamaño de la flota.

La elaboración del pliego de condiciones del material rodante será posible teniendo en cuenta las decisiones adoptadas.

Como referencia de otros proyectos, se desplegarán algunas características del diseño competitivo (estrecho contacto con los licitadores). El proceso de trazabilidad de requerimientos, la gestión de interfaces de proyectos y del "Ciclo V" tienen muchas ventajas y han demostrado su eficacia en nuestros proyectos actuales. Su uso se adaptará y desplegará en el proyecto Metro L2.

NB: no se presenta en el documento correspondiente un análisis detallado de los documentos técnicos elaborados para contratar la concesión de la PLMB (apéndices técnicos, preguntas y respuestas) pero se afirma que se tomarán en cuenta estos documentos para la definición y redacción de las especificaciones técnicas relacionadas con la ET correspondiente