



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
SECRETARÍA DE MOVILIDAD

**DISEÑO CONCEPTUAL DE LA RED DE TRANSPORTE MASIVO  
METRO Y DISEÑO OPERACIONAL, DIMENSIONAMIENTO  
LEGAL Y FINANCIERO DE LA PRIMERA LÍNEA DEL METRO EN  
EL MARCO DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE  
PUBLICO-SITP- PARA LA CIUDAD DE BOGOTA**

**PRODUCTO N° 28  
DOCUMENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO FUNCIONAL DE LA  
INFRAESTRUCTURA**

**MB- GC-ME-0028  
Rev. 2. Febrero 2010**



TITULO DEL DOCUMENTO: PARÁMETROS DE DISEÑO FUNCIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA

DOCUMENTO N°: MB-GC-ME-0028

Referencia: P210C25

Fichero: MB-GC-ME-0028-rev2

Revisión número: 2

Fecha revisión : Febrero 2010

	Nombre	Firma	Fecha
Realizado por	Susana Domingo		Febrero 2010
	Juli Barceló		Febrero 2010
	Marta Navarro		Febrero 2010
Verificado por	Guillermo Dierssen		Febrero 2010
Aprobado por	Luis M. San Martín Esteban Rodríguez		Febrero 2010



**REGISTRO DE CAMBIOS**

<b>REV.</b>	<b>FECHA</b>	<b>SECCIÓN / PÁRRAFO AFECTADO</b>	<b>INICIO DEL DOCUMENTO/ RAZONES DEL CAMBIO</b>
0	Nov.2009	TODOS	DOCUMENTO INICIAL
1	Dic. 2009		INCORPORACION COMENTARIOS
2	Feb. 2010	Estaciones	Revisión
		Talleres	Ubicación
		2.2. Evacuación estación tipo	Cálculos evacuación
		TODOS	Revisión general

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>OBJETO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERACIONES DE DISEÑO .....</b>	<b>15</b>
	<b>ESTACIONES .....</b>	<b>17</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>PROYECTO FUNCIONAL DE LAS ESTACIONES .....</b>	<b>19</b>
2.1	Criterios de diseño .....	19
2.2	Arquitectura, componentes de estaciones, definición y distribución de zonas y espacios .....	20
2.2.1	Tipología de Estación .....	20
2.2.2	Definición de espacios .....	23
2.2.3	Vestíbulos exteriores .....	25
2.2.4	Vestíbulos interiores o mesaninas .....	27
2.2.5	Andenes .....	27
2.2.6	Locales técnicos .....	28
2.2.7	Circulaciones e Instalaciones electromecánicas .....	29
2.2.8	Instalaciones de fontanería y saneamiento.....	30
2.2.9	Señalética, puertas de andén, ubicación de barreras tarifarias y máquinas expendedoras. ....	30
2.2.10	Acabados .....	31
<b>3</b>	<b>ARQUITECTURA Y DISEÑO URBANÍSTICO DE LAS SALIDAS/ENTRADAS DE CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE METRO. ....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>ESTIMACIÓN DE ESPACIOS .....</b>	<b>35</b>
	<b>TALLERES.....</b>	<b>37</b>
<b>1</b>	<b>ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>38</b>

---

1.1	Ubicación .....	38
1.2	Requerimientos .....	39
<b>2</b>	<b>PROGRAMAS DE NECESIDADES Y ARQUITECTONICOS .....</b>	<b>42</b>
2.1	Áreas de servicios generales (Edificio Administrativo) .....	43
2.2	Puesto de Control Centralizado - PCC.....	45
2.3	Subestación eléctrica y caseta para acometida.....	45
2.4	Cisterna y cuarto de máquinas para los edificios de servicio. Planta de tratamiento. ....	46
2.5	Talleres de mantenimiento .....	46
2.5.1	Actividades de mantenimiento menor .....	47
2.5.2	Actividades de mantenimiento mayor .....	48
2.6	Talleres auxiliares y almacén .....	49
2.7	Almacenes .....	51
2.8	Vehículos auxiliares.....	51
2.9	Depósito de basuras industriales .....	51
2.10	Vías de estacionamiento – Patios o cocheras .....	51
2.11	Vías de servicio.....	52
2.12	Vías de limpieza.....	52
2.13	Vialidades internas del conjunto de talleres.....	52
2.14	Confinamiento perimetral.....	53
2.15	Señalamiento gráfico .....	54
<b>VÍA</b>	<b>55</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>56</b>
<b>2</b>	<b>PARAMETROS BASE DE REFERENCIA .....</b>	<b>57</b>
<b>3</b>	<b>SECCIONES TIPO DE LA LÍNEA .....</b>	<b>58</b>
3.1	Sección en túnel y trinchera de acceso.....	58

3.2	Sección en superficie.....	59
3.3	Sección en estructura .....	61
3.4	Sección en estaciones.....	61
3.5	Sección en patios y talleres .....	62
3.6	Secciones con atenuación de ruido y vibraciones .....	63
<b>4</b>	<b>ARMAMENTO DE VÍA .....</b>	<b>65</b>
4.1	Riel .....	65
4.2	Fijación y sujeciones.....	65
4.3	Aparatos de vía.....	67
4.4	Aparato de dilatación .....	69
	<b>ENERGÍA .....</b>	<b>70</b>
<b>1</b>	<b>ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CONSUMIDA .....</b>	<b>71</b>
1.1	Sistema de energía de tracción.....	71
1.2	Sistema de energía en estaciones .....	72
1.3	Sistema de energía en talleres.....	79
1.4	Sistema de energía en el Puesto de Control Central (PCC) .....	80
1.5	Sistema de energía en túneles.....	80
1.6	Estimación total de potencias y consumos en la línea .....	81
<b>2</b>	<b>CATENARIA.....</b>	<b>83</b>
2.1	Introducción.....	83
2.2	Sección en túnel excavado con Tuneladora .....	84
2.3	Sección en falso túnel.....	84
2.4	Sección Semienterrada .....	85
2.5	Sección en viaducto.....	86
2.6	Sección en superficie.....	87

---

2.7	Estación subterránea .....	87
2.8	Estación semienterrada .....	88
2.9	Estación superficial (en superficie o viaducto) .....	88
2.10	Alternativa de catenaria convencional en sección semienterrada .....	88
2.11	Talleres y patios .....	89
	<b>MATERIAL RODANTE .....</b>	<b>90</b>
<b>1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MATERIAL RODANTE. ....</b>	<b>91</b>
1.1	Prestaciones .....	91
1.1.1	Aceleraciones y deceleraciones .....	91
1.1.2	Velocidades .....	92
1.1.3	Exigencias del servicio en averías .....	92
1.1.4	Modos de explotación .....	92
1.2	Caja .....	92
1.2.1	Caja de aluminio .....	93
1.2.2	Frontal .....	94
1.2.3	Armarios .....	94
1.2.4	Paso entre coches .....	94
1.2.5	Distribución interior de asientos .....	95
1.2.6	Asientos .....	95
1.2.7	Asideros .....	96
1.2.8	Pavimento .....	96
1.2.9	Iluminación .....	97
1.2.10	Aparatos de alarma .....	97
1.2.11	Insonorización .....	97
1.3	Enganches .....	98

1.3.1	Enganche automático .....	98
1.3.2	Enganche semipermanente.....	99
1.4	Bogies .....	99
1.5	Bastidor .....	100
1.6	Ejes .....	100
1.6.1	Cuerpo del eje.....	100
1.6.2	Ruedas.....	101
1.6.3	Elementos de freno.....	101
1.7	Suspensiones .....	101
1.7.1	Suspensión primaria .....	102
1.7.2	Suspensión secundaria .....	102
1.8	Motores de Tracción .....	103
1.9	Reductores.....	103
1.10	Equipo de freno en el bogie.....	104
1.10.1	Cilindros de freno .....	104
1.10.2	Timonería .....	104
1.10.3	Zapatas de freno .....	105
1.10.4	Freno de estacionamiento .....	105
1.11	Equipo eléctrico .....	105
1.11.1	Alta tensión.....	105
1.11.2	Baja tensión.....	106
1.12	Equipo neumático .....	108
1.12.1	Producción y almacenamiento de aire comprimido .....	108
1.12.2	Consumo de aire comprimido.....	109
<b>2</b>	<b>COMPOSICIÓN DE LOS TRENES .....</b>	<b>111</b>

<b>3</b>	<b>DIMENSIONES, PESOS Y CAPACIDADES ORIENTATIVAS .....</b>	<b>112</b>
3.1	MA (Coche motor con pupitre) .....	112
3.2	MB-MC (coche motor) .....	114
3.2.1	R (coche remolque) .....	116
<b>4</b>	<b>CALIDAD Y CONFIABILIDAD.....</b>	<b>118</b>
4.1	Pruebas y Ensayos .....	118
4.1.1	Normativa .....	118
4.1.2	Ensayos .....	118
4.2	Garantías .....	122
<b>5</b>	<b>MANTENIMIENTO.....</b>	<b>123</b>
5.1	Plan de asistencia y mantenimiento .....	124
5.2	Tipos de mantenimiento .....	124
5.2.1	Mantenimiento correctivo, incluido vandalismo (a partir del 3 <sup>er</sup> año).....	124
5.2.2	Mantenimiento preventivo (ciclo corto).....	124
<b>6</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>125</b>
	<b>SISTEMAS DE SEGURIDAD .....</b>	<b>126</b>
<b>1</b>	<b>SISTEMA DE VENTILACIÓN .....</b>	<b>127</b>
1.1	Descripción General .....	127
1.1.1	Objeto.....	127
1.1.2	Terminología .....	127
1.1.3	Normativa aplicable .....	129
1.1.4	Criterios de diseño .....	129
1.2	Descripción del concepto de Sistema de Ventilación para la línea de Metro	130
1.3	Ventilación del túnel.....	131
1.3.1	Dimensionado de la ventilación del túnel .....	131

1.3.2	Pozo de ventilación tipo.....	134
1.3.3	Equipamiento de túnel para ventilación .....	135
1.3.4	Ubicación Preliminar propuesta para los pozos de ventilación .....	135
1.4	Ventilación de la Estación Tipo .....	137
1.4.1	Recomendaciones recogidas en la NFPA 130 .....	137
1.4.2	Concepción de la ventilación en la estación tipo .....	138
1.4.3	Caudal de ventilación necesario.....	140
<b>2</b>	<b>EVACUACIÓN.....</b>	<b>143</b>
2.1	Evacuación del túnel.....	143
2.2	Evacuación de la estación tipo .....	146
<b>3</b>	<b>PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....</b>	<b>153</b>
3.1	Filosofía de Protección Contra Incendios .....	153
3.2	Gestión de Seguridad Contra Incendios en la línea de metro .....	154
3.2.1	Medidas de seguridad en el túnel .....	154
3.2.2	Seguridad en la estación .....	156
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE CONTROL DE ACCESOS.....</b>	<b>159</b>
4.1	Actores del sistema.....	159
4.1.1	Actores Humanos .....	159
4.1.2	Actores Materiales .....	162
4.2	Arquitectura Funcional.....	165
4.2.1	Puesto Central de Operación .....	166
4.2.2	Estaciones, Talleres y otras dependencias técnicas .....	168
4.3	Flujos de Información .....	168
4.3.1	Flujo 1: Gestión Operativa y Administración Técnica del Sistema .....	168
4.3.2	Flujo 2: Configuración y mantenimiento del Sistema.....	170



4.3.3 Flujo 3: Validación y autorización de acceso .....	171
4.4 Diagramas de flujos de información .....	172

## 1 OBJETO

En el presente documento se especifican las necesidades funcionales de la infraestructura, físicos y de seguridad necesarios para el diseño de la PLM, teniendo en cuenta que los requerimientos de explotación de la línea.

En primer lugar se incluye un resumen de los parámetros que se han considerado durante el desarrollo del producto y que influyen en las definiciones de los requerimientos y parámetros funcionales.

Seguidamente, y teniendo en cuenta dichos parámetros, el documento se desglosa en 6 bloques que se enumeran a continuación junto a una descripción de su contenido.

### 1. Estaciones

- Ubicación, tipología y número de estaciones de la PLM
- Proyecto funcional de estación según tipología incluyendo arquitectura, componentes de estaciones, definición y distribución de zonas y espacios, instalaciones electromecánicas, instalaciones de fontanería y saneamiento, señalética, puertas de andén, ubicación de barreras tarifarias y máquinas expendedoras.
- Arquitectura y diseño urbanístico de las salidas/entradas de cada una de las estaciones de metro.
- Estimación de espacios de estaciones de infraestructuras complementarias (aparcamientos, zonas comerciales, etc)

### 2. Talleres y patios (el Tintal)

- Proyecto funcional de talleres incluyendo arquitectura, distribución de zonas de mantenimiento, esquema de vías y conexiones con vía principal, tipología de vías en las zonas de mantenimiento, tipología de la línea de contacto y de los requerimientos de energía y de servicios (saneamiento, abastecimiento, etc...) específicos, identificación equipamiento necesario mantenimiento (torno foso, máquina limpieza, etc...).
- Estimación de espacios de talleres, de patios de PCC, y de infraestructuras complementarias (aparcamientos, zonas de acceso a talleres, etc)

### 3. Vía

- Tipología de vía a implementar según el trazado sea en superficie, en túnel, en vía principal o en talleres.
- Esquema de vías en el trazado incluyendo las cocheras o patios, las zonas de retorno (terminales) así como las vías de acceso a talleres y a patios.

### 4. Energía

- Estimación de consumos de energía para los sistemas de distribución eléctrica en estaciones, talleres y patios, PCC así como los requisitos de tracción.
- Tipología de catenaria aplicable en línea, estaciones y talleres.



5. Material rodante

- Características físicas de los trenes.

6. Sistemas de seguridad

- Requerimientos de seguridad incluyendo la ventilación en estaciones y túnel
- Requerimientos de los sistemas de protección contra incendios y evacuación
- Sistema de control de accesos

Como complemento a la documentación en el anexo de planos se encuentran los planos necesarios asociados a cada uno de los bloques anteriores.

## 2 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

Para la definición de los parámetros funcionales de la infraestructura, implementación urbanística y dimensionamiento de estaciones, talleres y patios, requisitos de los sistemas de seguridad, es necesario tener en cuenta por una parte el resultado de los productos de la etapa 2, como son los planos y parámetros de trazado (producto 20) así como la recopilación de los planos con la información de las redes matrices sobre el corredor de la PLM.

De otra parte, la definición de los requerimientos operacionales (personal necesario, nivel de automatización de los sistemas de la PLM), calidad de servicio (intervalo entre trenes en hora pico y valle), la flota y configuración de los trenes necesaria para satisfacer la demanda de la PLM en su escenario inicial a 2018 y la previsión a 2038, entre otros, deben tenerse en cuenta en el desarrollo del producto 28. Todas estas definiciones se realizan principalmente en el producto 25 de la etapa 3.

Adicionalmente, la definición y pre dimensionado del equipamiento de sistema de billeteo compatible con el SITP que se realiza en el producto 29, también en la etapa 3, así como los requerimientos de espacios de las instalaciones de los sistemas que se describen en este mismo producto o los condicionantes de la instalación de puertas de cierre en los andenes, debe considerarse en la especificación de las necesidades de la infraestructura.

### 3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El principal condicionante operacional es la explotación de la línea sin conductores ni personal auxiliar en el interior de los trenes, por lo que la infraestructura, el material rodante, la energía, los patios, el sistema de ventilación y la evacuación deberán adaptarse.

La PLM se considera desde los talleres y patios de “El Tintal” hasta la cola de la estación “C127”.

Las principales características de la línea son:

**Tabla 3-1. Características principales de la PLM**

<b>Longitud Total</b>	<b>29.054 metros</b>
Longitud en superficie	3.760 metros
Longitud en viaducto	520 metros
Longitud en túnel y falso túnel	18.474 metros
Longitud en desmonte y terraplen	6.300 metros

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se han tomado como datos de partida, los parámetros de diseño que se adjuntan en la siguiente tabla. La mayoría de ellos dependen de las dimensiones finales del material rodante, por lo que se incluye una relación de valores relacionados con el ancho del tren.

**Tabla 3-2. Principales parámetro de diseño de la infraestructura**

Estructura		
Altura de andén sobre vía	1,05 m	entre (1-1,1) m
Distancia eje vía a borde de andén	1,45 m	entre (1,45-1,55) m
Borde de andén a borde de andén	6,7 m	
Cabeza de carril a estructura	6-6,5 m	
distancia entre ejes de vía	3,4 m	(mínimo) ver relación con ancho de tren
distancia trenes a nivel de vía	1 m	
diámetro túnel	9 m	(mínimo)
tipo de túnel	túnel de doble vía	
Electrificación		
Tipo de catenaria en túnel y semienterrada	rígida	
Tipo de línea en superficie	convencional	
Tipo de poste		
Altura nominal entre Plano medio de rodadura e hilo de contacto	4,25 m	
postes de catenaria convencional	laterales	
Material Móvil		
largo (coche tren)	17 m	
ancho (coche tren)	2,7 m	
altura desde cabeza de carril con pantógrafo plegado (coche tren)	3,9 m	
gálibo estático	envolvente de la sección de alturaxanchura	
Señalización		
Señales	Sólo en agujas y talleres	
Sistema de conducción	CBTC	
Modo de conducción normal	UTO (sin conductores)	
CdV	Estacionamientos/ 1 por andén/ 1 por interestación	
Distancia mínima para estacionamiento	170 m	
Evacuación		
anchura pasillos de evacuación de túnel	1 m	(valor mínimo recomendado)
altura pasillos	altura piso del tren	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3-3. Relación valores y ancho de material rodante**

ANCHO MATERIAL MÓVIL	ENTREEJE	RADIO INTERIOR TUNEL EN RECTA	DISTANCIA ENTRE EJE DE VÍA Y BORDE DE ANDÉN
2,7	3,4	4,5	1,45
2,8	3,5	4,6	1,5
2,9	3,6	4,7	1,55
3	3,7	4,8	1,6
3,1	3,8	4,9	1,65
3,2	3,9	5	1,7

Fuente: Elaboración propia

Por razones de facilitar la entrada del material rodante a la zona de talleres y patios, y llegar a nivel de superficie antes para poder ubicar una tercera vía de acceso al taller se ha eliminado la estación “El Tintal”. En la siguiente tabla se incluye la ubicación (PK) de las estaciones así como su configuración de andenes.

**Tabla 3-4. Resumen de tipología y ubicación de estaciones**

N°	Pk inicio	Pk fin	Pk centro		Nombre	Tipología	Interdistancia	Tipo andén
1	0+980	1+160	1+070	0+180	PORTAL AMÉRICAS	intercambio con TM y futura línea morada	820	Doble
2	1+745	1+925	1+835	0+180	CASABLANCA	de paso	765	Doble
3	2+502	2+682	2+592	0+180	VILLAVICENCIO	de paso	757	Doble
4	3+360	3+540	3+450	0+180	PALENQUE	de paso	858	Doble
5	4+190	4+370	4+280	0+180	KENNEDY	de paso	830	Doble
6	5+249	5+429	5+339	0+180	BOYACÁ	intercambio futura línea azul	1059	Doble
7	5+975	6+155	6+065	0+180	1° DE MAYO	de paso	726	Doble
8	6+700	6+880	6+790	0+180	AV. 68	de paso / intercambio futura línea verde	725	Doble
9	8+100	8+280	8+190	0+180	RIO FUCHA	de paso	1400	Doble
10	9+510	9+690	9+600	0+180	AC. 6	de paso	1410	Doble
11	10+620	10+800	10+710	0+180	AC. 13	de paso / intercambio con TM	1110	Doble
12	12+010	12+190	12+100	0+180	NQS	intercambio con FFCC*	1390	Doble
13	12+675	12+855	12+765	0+180	AC. 22 PALOQUEMAO	de paso	665	Doble
14	13+875	14+055	13+965	0+180	LA SABANA	intercambio con TM y FFCC*	1200	Doble
15	15+306	15+486	15+396	0+180	SAN VICTORINO	intercambio con TM (2 troncales)	1431	Doble
16	15+982	16+162	16+072	0+180	AC. 19 AV. LIMA	de paso	676	Doble
17	16+750	16+930	16+840	0+180	LA REBECA	intercambio con TM	768	Doble
18	17+683	17+863	17+773	0+180	AC. 34 PARQUE NACIONAL	de paso	933	Doble
19	18+613	18+793	18+820	0+180	AC. 42 GRAN COLOMBIA	de paso	1047	Doble
20	19+388	19+568	19+595	0+180	MARLY	de paso	775	Doble
21	20+163	20+343	20+253	0+180	SANTO TOMÁS	de paso	658	Doble
22	21+164	21+344	21+254	0+180	PLAZA DE LOURDES	de paso	1001	Doble
23	22+129	22+309	22+219	0+180	AV. 72 CHILE	de paso	965	Doble
24	23+204	23+384	23+294	0+180	CALLE 85	de paso	1075	Doble
25	24+199	24+379	24+289	0+180	PARQUE 93	de paso	995	Doble
26	25+038	25+218	25+128	0+180	CALLE 100	de paso	839	Doble
27	26+434	26+614	26+524	0+180	USAQUÉN	de paso	1396	Central
28	28+124	28+304	28+214	0+180	CALLE 127	intercambio futura línea azul	1690	Central

Fuente: Elaboración propia



PRODUCTO N° 28

ESTACIONES

Parámetros de diseño funcional de la infraestructura

MB-GC-ME-0028  
Rev. 2 Pág. 17 de 173

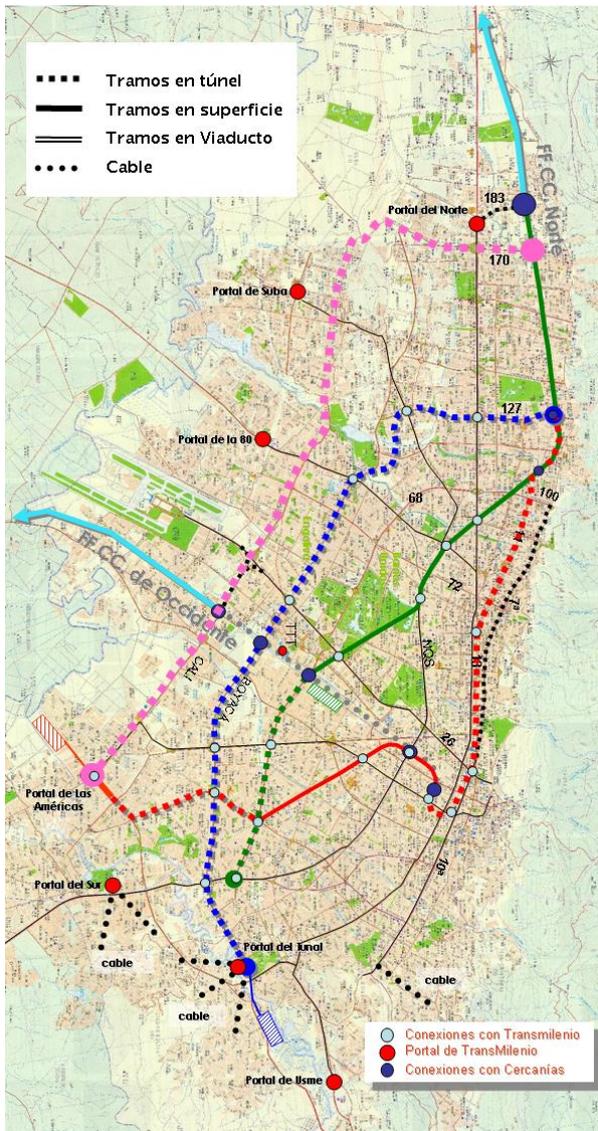
---

# ESTACIONES

## 1 INTRODUCCIÓN

La línea que consta de 29,054 km se compone de 28 estaciones: 3 en superficie, 5 semienterradas y 20 subterráneas, clasificadas en estaciones de Paso o simples (P), estaciones de Transferencia o de intercambio con otros modos de transporte público (T), y Especiales (E) por su complejidad e implicación en una importante renovación urbana del entorno donde se ubica dicha estación.

**RED DE METRO 2038**



**PLM 2018**



En este apartado se identifican y describen las estaciones que integran la PLM clasificándolas por tipologías.

## 2 PROYECTO FUNCIONAL DE LAS ESTACIONES

### 2.1 Criterios de diseño

Del análisis del funcionamiento deseado en las estaciones propuestas y de las características del suelo de la ciudad de Bogotá se desprenden los siguientes criterios de diseño:

- El diseño de las estaciones debe adaptarse a la solución de trazado. (Producto 20)
- La formalización de los espacios debe garantizar una ejecución fácil y rápida, además del aprovechamiento máximo del espacio. En la medida de lo posible debe reducirse la ocupación en planta para permitir la ejecución de las obras sin afectación a los predios colindantes.
- El diseño de las estaciones debe procurar minimizar y simplificar los recorridos de los viajeros.
- El diseño de las estaciones facilitará la orientación del viajero.
- El diseño de las estaciones atenderá todas las medidas que garanticen la seguridad del Usuario y del Operador, dentro de las mismas.
- La distribución espacial de los elementos será reconocible y similar en todas las estaciones de forma que el viajero pueda asociar el interior de una estación a la Línea sin necesidad de ver símbolos identificativos.
- Los materiales a emplear serán resistentes y de fácil limpieza y mantenimiento.
- Las estaciones deberán contar con una iluminación adecuada a los diferentes espacios públicos y operativos. Prestando especial atención al borde de andén, zona de control de acceso, y escaleras.
- En el proyecto de ejecución se desarrollarán y dimensionarán los programas arquitectónicos y de equipamiento, que definirán de manera integral y eficiente los espacios internos y externos de todas las áreas, integrándolas funcionalmente con los aspectos técnicos, legales y de servicios de su entorno inmediato.
- La implementación de todos los elementos se realizará conforme a lo estipulado en las disposiciones legales correspondientes.
- En todos los diseños de las estaciones, estacionamientos, zonas de intercambio de medios, pasarelas de comunicación, talleres y edificios de servicio se considerarán instalaciones, equipos, señalamientos y acabados texturizados para uso de personas con capacidades diferentes y de la tercera edad.
- Se instalarán escaleras mecánicas y elevadores para personas con capacidades diferentes en cada una de las estaciones, por lo menos en uno de los dos vestíbulos en aquellas estaciones con doble entrada.
- En todas las estaciones, se establecerán rutas uniformes para las personas con capacidades diferentes, de tal forma que estas personas se orienten siempre bajo los

mismos criterios. Para el cumplimiento de lo anterior se toman los lineamientos de las siguientes leyes y normas:

- Ley General para las Personas con Discapacidad
- Acuerdo por el que se Establecen los Lineamientos de Accesibilidad a las Personas con Discapacidad en los Inmuebles
- Aplicación de la Norma para Accesibilidad a Espacios Construidos de Servicio al Público

## 2.2 Arquitectura, componentes de estaciones, definición y distribución de zonas y espacios

### 2.2.1 Tipología de Estación

Partiendo del análisis del trazado propuesto en el Producto 20 el proyecto conceptual hace una primera clasificación de las estaciones en función de la profundidad a la que se localizan los andenes en cada una de ellas. Las estaciones propuestas en este proyecto se agrupan en 6 tipologías según sean Subterráneas, Semienterradas o en Superficie y dentro de esta clasificación según la distribución, número y ubicación de los accesos y vestíbulos.

Tabla 2-1. Número de estaciones PLM

ESTACIONES	P	T	E	Total
Superficie	2	1	-	3
Semienterrada	4	-	1	5
Viaducto	-	-	-	-
Túnel	15	3	2	20
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>28</b>

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

P: Paso o simple, T: Transferencia o correspondencia, y E: Especial

- Subterráneas (entre pantallas):
  - **Tipo A** (dos vestíbulos en los extremos): 20
  - **Tipo B** (un vestíbulo centrado en la estación) 1
- Semienterradas:
  - **Tipo C** (dos vestíbulos en los extremos): 3
  - **Tipo D** (un vestíbulos centrado en la estación): 1
- En superficie:
  - **Tipo E** (dos vestíbulos en los extremos): 1
  - **Tipo F** (un vestíbulo centrado en la estación): 2

(Ver Anexo Planos).

El diseño establece programas de necesidades flexibles y modulares, que a lo largo de la vigencia de la concesión puedan crecer planeada y ordenadamente conforme se requiera.

**Tabla 2-2. Número y clasificación de estaciones**

ESTACIONES	Por construcción	En la línea	TIPO
Portal Américas	T	T	A
Casablanca	T	P	A
Villavicencio	T	P	A
Palenque	T	P	A
Kennedy	T	P	A
Boyacá	T	T	A
1° de Mayo	T	P	A
Avenida 68	T	T	A
Río Fucha	S	P	E

Ac 6	Sm	P	C
Ac 13	Sm	P	C
NQS	Sm	P	C
Paloquemao	Sm	P	D
La Sabana	Sm	E	A
San Victorino	T	E	A
Ac 19 Avenida Lima	T	P	A
La Rebeca	T	E	A
Ac 34 Parque Nacional	T	P	A
Ac 42 Gran Colombia	T	P	A
Marly	T	P	A
Santo Tomás	T	P	A
Plaza de Lourdes	T	P	A
Av 72 Chile	T	P	A
Calle 85	T	P	A
Parque 93	T	P	A
Calle 100	T	P	A
Usaquén	S	P	F
Calle 127	S	T	F

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

Por construcción: Superficie (S), Semienterrada (Sm), Túnel (T)

En la línea: Paso (P), Transferencia (T), Especial (E)

Tipo: A, B, C, D, E, F.



Si en el futuro surgiera la necesidad de incorporar, por demanda; una estación en la zona del Tintal, antes de la Estación Portal Américas, esta sería del siguiente tipo:

Tintal	S	P	E
--------	---	---	---

En este documento se incluye un prediseño de estación situada en prolongación de la vía principal en el predio disponible entre la zona de patios y talleres y el canal, tal y como se muestra en el plano PL201. Puesto que el trazado en esta zona discurre en superficie esta estación se asemejaría a la estación Río Fucha siendo mucho más sencilla ya que dispondría de un único vestíbulo de acceso y un paso elevado para conectar ambos andenes. Para facilitar el acceso a la estación y comunicar ambos lados del Tintal, separados hoy por el canal y cuando se construya la PLM por esta, a la altura del PK 0+200 se propone una pasarela peatonal.

Detrás de la estación es necesaria una cola de maniobras para cambio de vía pudiendo ser utilizada como estacionamiento en hora valle.

### 2.2.2 Definición de espacios

Las estaciones, estacionamientos e intercambio de medios tendrán una imagen corporativa uniforme, estética y con el carácter formal de acuerdo con las actividades que en ellos se desarrollarán.

Todos los diseños cumplirán con las buenas prácticas de ingeniería y arquitectura

Las estaciones contarán con espacios y circulaciones necesarios para su correcto funcionamiento, y se deberán considerar fundamentalmente tres zonas:

- Intercambio de medios (donde aplique)
- Servicio Metro: estaciones
- Comercial y/o equipamientos (donde aplique)

La distribución de las diferentes áreas en cada estación, obedecerá a la interrelación de las mismas y a la funcionalidad de los conjuntos, de tal forma que se logre una concepción armónica y estética en cada estación.

El diseño definitivo de las estaciones se integrará de manera armónica con el entorno urbano de tal forma que propicie mejoras urbanas en la zona.

A continuación se indican las áreas que deberán integrar cada zona.

Tabla 2-3. Espacios arquitectónicos según funcionalidad

	Descripción	Espacio arquitectónico
<b>I. Intercambio de medios</b>	Áreas a través de las cuales los pasajeros cambian de modo de transporte.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Paradero de autobuses, busetas y microbuses.</li> <li>2. Servicios complementarios.</li> <li>3. Pasarelas de conexión.</li> <li>4. Parqueadero de bicicletas (en propiedad y en alquiler)</li> <li>5. Urbanización exterior</li> </ol>
<b>II. Servicio Metro</b>	Son las áreas que se requieren para proporcionar el servicio de transportación.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Acceso.</b></li> <li>2. <b>Vestíbulos exteriores</b> (zona no paga).</li> <li>3. Teléfonos públicos.</li> <li>4. Locales de servicio: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Máquinas expendedoras.</li> <li>b. Oficina para el personal.</li> <li>c. Sanitario para empleados y público.</li> <li>d. Vigilancia.</li> <li>e. Primeros auxilios.</li> </ol> </li> <li>5. Validadoras (barrera control)</li> <li>6. <b>Vestíbulos interiores</b> (zona paga)</li> <li>7. Circulaciones.</li> <li>8. <b>Andenes.</b></li> <li>9. Depósito para basura (limpieza de la estación).</li> <li>10. <b>Locales técnicos:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Subestación eléctrica auxiliar.</li> <li>b. Subestación de Tracción (donde aplique)</li> <li>c. Local de señalización y control.</li> <li>d. Local de comunicaciones.</li> <li>e. Local de boletaje.</li> <li>f. Cuarto de máquinas y cisterna.</li> </ol> </li> </ol>
<b>III. Comercial /Equipamiento</b>	Área en la cual se pueden ubicar las explotaciones comerciales y otros equipamientos externos al sistema.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Locales comerciales.</li> <li>2. Oficinas.</li> <li>3. Parqueaderos subterráneos y en superficie</li> <li>4. Equipamientos lúdicos, culturales, etc.</li> </ol>

Fuente: Elaboración propia

### I. Intercambio de medios

“Áreas a través de las cuales los pasajeros cambian de modo de transporte”.

Este bloque comprende las instalaciones exteriores y aledañas a la estación en donde se juntan diferentes modos de transporte y conexiones entre ellos.

Dentro de este grupo se han considerado los parqueaderos de autobuses, buses y microbuses (Buses auxiliares), paraderos de taxis, parqueaderos de vehículos privados, estacionamiento de bicicletas propias y en alquiler así como las instalaciones complementarias a las mismas.

Existen ejemplos donde asociado al sistema de metro existe un alquiler de bicicletas con el que el usuario accede a su destino final si este se encuentra alejado de la estación más próxima, sin que por ello tenga que disponer de bicicleta propia. También se contempla la posibilidad de acceder al sistema con la propia bicicleta sin necesidad de viajar con ella dejándola estacionada en la estación a coste nulo presentando el boleto de haber utilizado el sistema metro. Esto ocurre fundamentalmente en las horas pico en las que no se permite el acceso de bicicletas al sistema.

Del mismo modo en este bloque se incluyen las pasarelas de conexión y accesos peatonales de usuarios al sistema (fundamentalmente aplica en aquellas estaciones en superficie y cuyo trazado supone una barrera física de acceso directo).

La integración del nuevo modo de transporte masivo Metro con el resto de modos del SITP queda definida con mayor detalle en el Producto 26.

Cada implantación de estación lleva consigo el diseño y análisis de la reordenación urbana colindante. Deberán analizarse en el proyecto básico las propuestas de adecuación y mejoras paisajísticas y de espacios verdes próximos a las estaciones cumpliendo con la normativa ambiental vigente.

En los puntos del trazado en superficie o semienterrados donde existan pasos vehiculares o peatonales sobre las vías se definirán las protecciones necesarias que garanticen la seguridad de la línea evitando la caída de objetos y/o personas a la misma.

## II. Servicio Metro

*“Son las áreas que se requieren para proporcionar el servicio de transportación”.*

### 2.2.3 Vestíbulos exteriores

Se han previsto áreas en el interior de las estaciones para encauzar ordenadamente los flujos de usuarios que utilizarán las taquillas, máquinas expendedoras y validadoras.

Su diseño tiene en cuenta:

- Circulaciones definidas y ordenadas, evitando al máximo los cruces.
- Evacuación segura y expedita de la máxima concentración de usuarios en cada estación.
- Ubicación de la o las líneas de peaje o validadoras.

Las características, localización y dimensionamiento definitivo, en el Proyecto Ejecutivo, de los locales serán el resultado del análisis de su funcionamiento, del volumen de usuarios, del número de empleados requeridos para su operación, del equipamiento, el amueblado y las circulaciones internas que serán lo más cortas posibles y jerarquizadas de acuerdo a la interrelación de los locales.



### Teléfonos públicos

Se prevén espacios para alojar teléfonos públicos con las canalizaciones necesarias en los vestíbulos exteriores de cada estación.

Su ubicación no deberá obstruir la circulación de los flujos de usuarios por lo que siempre estarán localizadas en lugares apartados del flujo habitual.

### Máquinas expendedoras de títulos de transporte

Se prevén espacios en zonas aledañas a las validadoras, para la instalación de máquinas expendedoras de títulos de transporte.

La colocación de estos equipos se hará de acuerdo con las necesidades del servicio durante la vigencia de la concesión; se prevén las preparaciones especiales requeridas por el proveedor de estos equipos, sus dimensiones, espacio para darles mantenimiento y especialmente no obstruir la circulación de los usuarios.

### Local para el personal de metro

En las estaciones se ubicará una oficina para el personal de metro de la estación. Este local estará equipado con los muebles, circulación interna y equipos de trabajo requeridos para esta función.

Este local contará con un ventanal que permita la más amplia visibilidad sobre el vestíbulo.

### Vigilancia

En cada estación existirá un local para el personal de vigilancia que estará ubicado en las proximidades del vestíbulo exterior según cada caso. Este local estará anexo al local del personal de metro o incluso formar parte de él.

En el diseño y dimensionamiento de este local se prevé el espacio suficiente para el personal que preste el servicio de vigilancia en la estación y su área de influencia y, en su caso, la supervisión mediante circuito cerrado de televisión.

### Sanitarios para empleados y público

En todas las estaciones existirá un espacio destinado a sanitarios de uso exclusivo para el personal y otro espacio para el uso del público.

En el caso de las estaciones subterráneas se construirán cárcamos de bombeo.

### Primeros auxilios

Cada estación contará con un local de primeros auxilios ubicado en el nivel andén.

Su equipamiento, características y dimensiones se ajustarán a las normas de construcción y de servicio médico.



#### Cuarto de aseo y basuras (cuarto de limpieza)

Cada estación contará con locales de aseo que se localizarán estratégicamente en vestíbulos y andenes; sus dimensiones deberán ser suficientes para dar cabida al equipamiento y al personal de limpieza.

Para depositar los desechos sólidos se prevé un espacio, fácilmente accesible para su recolección, donde se almacenarán de manera clasificada las basuras respetando las normas ecológicas y de construcción aplicables. La transferencia de basura se programará con los departamentos de limpieza de las delegaciones y municipios correspondientes para que se realice preferentemente fuera de las horas de servicio.

#### Barrera de control

Su ubicación constituye el límite físico de los vestíbulos interior y exterior para controlar la entrada y salida de los usuarios a los andenes; se colocarán una o varias baterías de validadoras según los recorridos previstos en el interior de la estación. El número de validadoras a colocar, en todo momento, estará de acuerdo a los volúmenes de pasajeros que se atiendan.

Alineadas con las validadoras se preverán puertas de cortesía o de servicio con el ancho suficiente para dar paso a sillas con ruedas y andaderas de las personas con capacidades diferentes y de la tercera edad.

Complementando dichas baterías se diseñarán elementos modulares que podrán ser retirados y substituidos más validadoras, de acuerdo con los requerimientos de la demanda a los diferentes horizontes o bien por ajustes en la operación de los vestíbulos.

### **2.2.4 Vestíbulos interiores o mesaninas**

Se prevén áreas en el interior de las estaciones para encauzar los flujos de usuarios que se dirigen a los andenes y que salen de ellos a través de los elementos de unión como: escaleras fijas y eléctricas, y elevadores para personas con capacidades diferentes.

En el caso de las estaciones subterráneas con dos vestíbulos estos quedarán unidos por una pasarela que hace las funciones de cierre del espacio del tren y el andén con las puertas de andén. Esta pasarela será utilizada como ruta de evacuación de los andenes.

### **2.2.5 Andenes**

Son las áreas donde se embarcan y desembarcan los usuarios del tren y tendrán como mínimo las siguientes características:

- Los andenes en todas las estaciones son preferentemente laterales con un ancho mínimo de 4,50m.
- En la estación Usaquén y Calle 127 el andén es central por la falta de espacio disponible, dimensionándose su ancho para la demanda de cada una de ellas.
- Los andenes se han diseñado en tramos rectos de vía.
- Estarán libres de elementos que obstaculicen la circulación de los usuarios. En caso de alguna excepción el obstáculo se destacará de manera ostensible.

- El nivel de los andenes coincidirá con el nivel de piso de los trenes en su estado de carga máxima.
- La longitud total de cada andén será de 150m pudiendo ampliarse si la demanda lo requiere.
- El borde de andén se ha diseñado con un ancho mínimo de 60cm con acabado antiderrapante y señalizado a todo lo largo del andén con una franja de color altamente contrastante con un ancho mínimo de 10cm.
- La geometría y dimensión del borde de andén en todas las estaciones permitirá a usuarios y personal de mantenimiento, protegerse de un posible atropellamiento en la zona de vías de la estación.
- En los extremos del andén, se instalarán dispositivos para facilitar el acceso a la vía al personal autorizado.
- Para operar cómodamente bajo distintas condiciones atmosféricas, los andenes estarán cubiertos en toda su longitud en las estaciones en superficie o semienterradas.

### **2.2.6 Locales técnicos**

Son espacios de características especiales, que por su función y equipamiento se ubican preferentemente en el nivel de andén; algunos de ellos existirán en todas la estaciones y otros se ubicarán estratégicamente.

#### Subestaciones eléctricas auxiliares

Para alumbrado y fuerza se requieren locales especiales y apropiados; las dimensiones dependerán de las características particulares de los equipos que en ellos se instalen.

Las preparaciones para su conexión así como los niveles de piso terminado y las canalizaciones serán el producto de los diseños específicos de cada estación.

#### Subestación de tracción

Esta sala de 400m<sup>2</sup> aproximadamente se localizará en aquellas estaciones donde la línea lo requiera puesto que será la que alimente al sistema.

#### Locales para señalización y control, comunicaciones y boletaje

En todas las estaciones se prevén espacios técnicos donde se colocarán algunos equipos relacionados con las comunicaciones, las puertas de andén y el boletaje. Su ubicación, dimensiones, construcción y operación dependerán del equipo que en ellos se instale.

Adicionalmente, en algunas estaciones (1 de cada 4 aproximadamente) se reservará espacio para las instalaciones del sistema de señalización y control de trenes.

Las preparaciones para la instalación de estos equipos, así como los niveles de piso terminado y las canalizaciones, se determinarán de acuerdo con los diseños requeridos.



### Cuarto de máquinas y cisterna

La capacidad y el dimensionamiento de estos locales se determinarán en el Proyecto Ejecutivo con base a lo que indique el reglamento de construcción, considerando a las estaciones como comercios y debiéndose aplicar el índice correspondiente a las áreas de servicio.

En el diseño de la instalación se tendrán en cuenta dos alimentaciones a la cisterna, una de la red pública y otra desde una toma para carro tanque, la cual servirá para abastecer las celdas de dicha cisterna cuando se lleve a cabo la limpieza profunda de las estaciones.

### **2.2.7 Circulaciones e Instalaciones electromecánicas**

La comunicación entre las diferentes zonas y áreas que integrarán la estación se deberá hacer por medio de circulaciones verticales y horizontales.

La selección de estos elementos, sus características y su ubicación se efectuará teniendo en cuenta el diseño y funcionamiento de las estaciones mediante:

- Elementos convencionales (escaleras y pasillos).
- Elementos eléctricos (rampas, andadores, escaleras y elevadores para personas con capacidades diferentes). Se han diseñado escaleras eléctricas en las estaciones subterráneas con ancho de 1.4m y elevadores hasta el andén además de los elevadores de acceso a la calle y pasarelas peatonales de acceso a los vestíbulos de cada estación.
- Pasillos, pasarelas y túneles.

Las dimensiones y número de elementos requeridos dependerán del volumen de usuarios, así como de las distancias a recorrer, desniveles y disponibilidad de espacio, de acuerdo con las disposiciones legales aplicables.

Los anchos de las circulaciones se han determinado tomando como base el análisis peatonal internacional de sistemas de transporte colectivos que operan en condiciones similares a las pronosticadas en los estudios de demanda disponibles hasta el momento.

Para el diseño de las estaciones se ha partido de la premisa de hacer accesible el sistema de transporte a todas aquellas personas con problemas de movilidad o PMR (Personas de Movilidad Reducida) y por ello se disponen ascensores desde la calle hasta la mesanina antes de la barrera de control y desde la mesanina a cada uno de los andenes de la estación.

El tamaño y número de ascensores necesarios desde la calle hasta la mesanina o vestíbulo exterior dependerá de la demanda, pudiendo ser necesario más de un ascensor en algún caso.

No se considera imprescindible colocar escaleras eléctricas desde la mesanina o vestíbulo hasta el andén siempre que existan ascensores. En las estaciones subterráneas se ha considerado adecuado realizar los desplazamientos verticales mecánicamente por la diferencia de cota entre la calle y la mesanina, del orden de 18-20m.

## **2.2.8 Instalaciones de fontanería y saneamiento**

Aquellas estaciones que dispongan de zonas comerciales, parqueadero, o dependencias para el personal del sistema estarán dotadas de aseos para uso público y para el uso de los empleados. Se diseñarán las redes de abastecimiento y saneamiento necesarias para el correcto funcionamiento de estas instalaciones. En el proyecto conceptual se han previsto conductos verticales para paso de instalaciones que permitan su ubicación en espacios adecuados y accesibles para el mantenimiento de las mismas.

## **2.2.9 Señalética, puertas de andén, ubicación de barreras tarifarias y máquinas expendedoras.**

### Señalética

Los recorridos estarán correctamente señalizados de manera clara, sencilla y comprensible para todos los usuarios. El señalamiento gráfico estará destinado a prevenir, restringir, informar, encauzar y orientar a los usuarios y empleados en el correcto uso de las instalaciones, estaciones, talleres y edificios.

En la vía pública se colocará el señalamiento necesario para identificar los puntos de acceso y para relacionar estos adecuadamente con las zonas de intercambio de medios.

Se dejarán preparadas y construidas las instalaciones necesarias para los señalamientos luminosos.

Su diseño, distribución y colocación se llevará a cabo bajo normas o estándares que hayan sido empleados en instalaciones con características y operaciones similares. Los símbolos y leyendas empleados, serán de fácil identificación por usuarios y empleados.

El señalamiento comercial, promocional y de publicidad se apegará al criterio del señalamiento general de la línea y en ningún caso podrá tener mayor jerarquía que la del Servicio de Transporte.

El señalamiento gráfico y de emergencia cubrirá, al menos, los aspectos siguientes de manera clara y específica: evacuación, identificación de línea y estación y de sistema.

En el diseño de la señalética del Metro se deberán recoger y tener en consideración los criterios que serán marcados para la señalización del SITP.

### Barreras tarifarias y máquinas expendedoras

La mesanina queda dividida en dos zonas bien diferenciadas por la línea de control o tarifaria formada por las validadoras. En el lado no paga o exterior se localizan las máquinas expendedoras de billetes de transporte. El número de validadoras y máquinas expendedoras ha sido calculado en función de la demanda de cada estación y se detalla en el apartado correspondiente del producto 29.

### Andenes

Los andenes dispondrán de puertas de andén puesto que el proyecto conceptual propone la implantación de un sistema de conducción automática. La utilización de puertas de andén permite separar el ambiente de la zona de andén de la zona del túnel, pudiendo plantearse ventilaciones separadas.

## 2.2.10 Acabados

Para el diseño y construcción de las obras civiles correspondientes a estaciones y edificios de servicio, se considerarán materiales, acabados y accesorios con un nivel de alta calidad.

Los acabados serán seleccionados con base a las propiedades físicas, estéticas, de conservación, mantenimiento y antivandalismo para pisos, muros y plafones.

En los acabados de las estaciones se utilizarán los mismos para todas las estaciones de forma que se facilite al viajero el reconocimiento de la línea.

### Muros y techos

En el recubrimiento de muros se utilizarán placas metálicas desmontables de acero esmaltado o similar, y en las zonas acristaladas se emplearán vidrios de seguridad para evitar accidentes en caso de rotura.

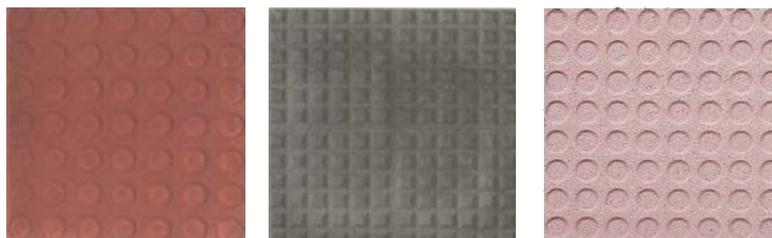
Para los techos y plafones se emplearán placas metálicas registrables, y plafones de escayola desmontables, resistentes a la humedad y con acabado de buena calidad.

### Pavimentos

En este sentido en los pisos de uso público se utilizará un material de durabilidad comprobada con espesor mínimo de 2cm.

En los andenes se incorporará la franja de seguridad y la nariz de andén. En el conjunto de pavimentos se señalarán los caminos para invidentes mediante baldosas apropiadas con resaltes.

En las zonas exteriores el pavimento empleado para señalamiento de recorridos y obstáculos para personas con capacidades diferentes será de baldosa hidráulica de cemento y/o concreto en simple con acabado rugoso antiderrapante.



### Adaptación a personas con movilidad reducida:

Para dar accesibilidad a las personas con discapacidad, se traduce en la instalación de elevadores del nivel calle al nivel en el cual puedan acceder al vestíbulo y desde este hasta el nivel de andén. Así mismo en el Proyecto de Ejecución se verificarán las dimensiones de todas las puertas para dar paso a las sillas de ruedas, las plataformas elevadoras y las ayudas pertinentes para discapacitados que usen muletas o bastón en todas las áreas y accesos.

Para los invidentes se considerará un señalamiento en pisos que pueda detectar su bastón indicando la circulación continua, los cambios de dirección o la presencia de obstáculos, etc. Igualmente se colocará la señalización oportuna mediante el sistema Braille en los paneles informativos para su perfecta orientación.



#### Carpintería y mobiliario urbano

Las barandas se resolverán considerando como mínimo que el pasamanos sea tubo de acero inoxidable con diámetro no menor a 1.5pulgadas y con una estructura de soporte que minimice el mantenimiento.

Las puertas serán RF (Resistencia al Fuego) y blindadas en aquellos locales que se considere necesario para evitar la intrusión de toda persona ajena al sistema.

El mobiliario empleado, papeleras, bancos y carteles de señalización se resolverán en acero inoxidable u otro material de alta resistencia y fácil limpieza.

### **III. Comercial/Equipamientos**

*“Área en la cual se pueden ubicar las explotaciones comerciales y otros equipamientos externos al sistema”.*

Este bloque no aplica por igual a todas las estaciones siendo necesario analizar la conveniencia y disponibilidad de espacio para implantar este tipo de equipamientos (comerciales, lúdicos, culturales, administrativos,...).

En el presente documento se ha considerado que en aquellas estaciones clasificadas como Especiales, por su complejidad e implicación en una importante renovación urbana del entorno donde se ubica dicha estación, si existirán espacios para locales comerciales y de oficinas.

Dentro de este grupo se prevén las estaciones siguientes:

- La Sabana
- San Victorino
- La Rebeca



La estación de Lourdes se ha considerado como estación de paso pero con la posibilidad de crear un acceso con una importante zona comercial bajo la plaza frente a la Iglesia de Lourdes. Se trata de una zona con una gran actividad comercial. Esta estación no se ha clasificado como especial ya que solo se engloban dentro de este grupo aquellas estaciones donde existe la posibilidad de construir edificios en superficie. Sin embargo, si se ve factible construir un parqueadero subterráneo en el hueco de la estación. Parqueadero conectado con el acceso a la estación y con la zona comercial propuesta bajo la plaza de Lourdes tal y como se puede ver en los planos adjuntos.



### **3 ARQUITECTURA Y DISEÑO URBANÍSTICO DE LAS SALIDAS/ENTRADAS DE CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE METRO.**

Los accesos son el límite físico entre la estación y el exterior, a través de los cuales entran y salen los usuarios durante las horas de servicio del sistema.

En los planos del anexo se incluye el diseño preliminar de los accesos al sistema en las estaciones subterráneas. Para las estaciones en superficie los accesos forman parte del diseño del edificio de la estación.

Para su diseño se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- Mediante puertas se cerrarán de manera segura cuando no se preste el Servicio de Transporte, o en caso de desordenes públicos.
- Permitirán desalojar las estaciones de manera expedita y segura en caso de emergencia.
- Complementarán la ventilación de los vestíbulos de manera natural.
- Su acabado final deberá ser de agradable apariencia y fácil limpieza y mantenimiento.
- Evitarán la filtración y escurrimiento de agua pluvial al interior de las estaciones.
- Los accesos deberán estar situados en espacios visibles
- Dispondrán de la señalización correspondiente con el logotipo del sistema.
- Tendrán suficiente espacio para permitir las circulaciones de entrada y salida y albergar la evacuación en caso de salida de emergencia de la estación.
- Los ascensores dispondrán igualmente de un espacio de espera delante de las puertas sin que interfieran con las circulaciones normales de los ciudadanos por la acera.
- Los accesos podrán estar cubiertos o descubiertos según sea el caso.

Aunque en el diseño preliminar no se han previsto escaleras eléctricas hasta el nivel de calle siempre será posible colocarlas recomendándose únicamente en aquellos accesos cubiertos para garantizar la vida útil de la escalera protegiéndolas de las inclemencias meteorológicas.

(Ver planos PL142 a 145)

Como se puede observar en los planos de detalle de las estaciones los accesos se encuentran separados unos de otros ampliando el radio de influencia de la estación para captar el mayor número de usuarios.

#### 4 ESTIMACIÓN DE ESPACIOS

De las definiciones de espacios, necesidades de equipamiento y de las distintas tipologías descritas en apartados anteriores se obtienen las estimaciones de espacios necesarios en las estaciones propuestas para la PLM.

En la siguiente tabla se resumen los datos básicos de las estaciones de la PLM.

**Tabla 4-1. Datos básicos de las estaciones de la PLM**

ESTACIONES	POR CONSTRUCCIÓN	CON LA LINEA	INTERMODALIDAD	VESTÍBULOS	ANDENES	TIPO	m2
Portal Américas	Túnel	Terminal	Intercambio TM y Metro (LMorada)	2 extremos	2 laterales	A	VII
Casablanca	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Villavicencio	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Palenque	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Kennedy	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Boyaca	Túnel	Paso	Intercambio Metro (LAzul)	2 extremos	2 laterales	A	VII
1ro de Mayo	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Av 68	Túnel	Paso	Intercambio Metro (LVerde)	2 extremos	2 laterales	A	VII
Río Fucha	Superficie	Paso		2 centrados	2 laterales	E	IV
Ac 6	Semienterrada	Paso		2 extremos	2 laterales	C	I
Ac 13	Semienterrada	Paso	Intercambio TM	2 extremos	2 laterales	C	I
NQS *	Semienterrada	Especial *	Intercambio FFCC* y TM (NQS)	2 extremos	2 laterales	C	V
Paloquemao	Semienterrada	Paso		1 centrado	2 laterales	D	III
La Sabana *	Semienterrada	Especial *	Intercambio FFCC* y TM (Cil13)	2 extremos	2 laterales	A	V
San Victorino	Túnel	Especial	Intercambio TM (Cil13 - 10ª)	2 extremos	2 laterales	A	VIII
Av Lima	Túnel	Paso		1 centrado	2 laterales	B	VI
La Rebeca	Túnel	Especial	Intercambio TM (Caracas - 10ª)	2 extremos	2 laterales	A	VIII
Parque Nacional	Túnel	Paso	Intercambio TM (7ª)	2 extremos	2 laterales	A	VII
Gran Colombia	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Marly	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Santo Tomás	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Plaza de Lourdes	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VIII
Av Chile	Túnel	Paso	Intercambio TM	2 extremos	2 laterales	A	VII
Ac 85	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VI
Parque de la 93	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Ac Calle 100	Túnel	Paso		2 extremos	2 laterales	A	VII
Usaquen	Superficie	Paso		2 extremos	central (8,00m)	F	III
Ac 127	Superficie	Terminal	Intercambio Metro (LAzul)	1 centrado	central (11,50m)	F	II

NOTA:

Las estaciones marcadas con (\*) se han diseñado para permitir el intercambio con el tren de cercanías de occidente si este finalmente llegara hasta la Sabana. Si no llegara el tren simplemente se reduciría el vestíbulo de conexión e intercambio.

Fuente: Elaboración propia

Las superficies aproximadas para cada tipo de estación, según su uso, se adjuntan en la siguiente tabla.

**Tabla 4-2. Superficies aproximadas por tipo de estación**

m2	Uso	TIPO							
		SUPERFICIE / SEMIENTERRADA					SUBTERRÁNEA		
		Paso I	Transf II	Paso III	Paso IV	Especial V	Paso VI	Paso - Transf VII	Especial VIII
Nivel andén	andenes	1740	1725	1200	1740	1800	340	340	340
	salas técnicas	573	220	240	573	385	385	385	385
Nivel mesanina	zona no paga (vestíbulo)	430	950	395	392	1600	324	1010	1600
	zona paga (mesanina)	320	540	948	410	675	675	675	675
Nivel intermedio	salas técnicas (variable)		450	450			650	1070	1070
Nivel superior	publico						864	1285	1285
	salas técnicas					1880	120	91	91
	parqueadero-comercio-equipamiento							2555	2555
Accesos	Pasarelas		749	749					
		3063	4634	3982	3115	6340	3358	7411	8001

Fuente: Elaboración propia



PRODUCTO N° 28

TALLERES

Parámetros de diseño funcional de la infraestructura

MB-GC-ME-0028  
Rev. 2 Pág. 37 de 173

---

## TALLERES

## 1 ASPECTOS GENERALES

Los talleres son el conjunto de construcciones y espacios donde se llevarán a cabo y se coordinarán las tareas de mantenimiento, inspección, limpieza y reparación del Equipo Ferroviario, de los subsistemas ferroviarios e instalaciones fijas.

Los patios son el conjunto de vías y equipamientos necesarios para el estacionamiento de los trenes durante las horas sin explotación, o las horas valle.

Al tratarse de una línea automática operada sin conductores (UTO) la zona de talleres y la zona de patios deberá estar separada por algún medio físico, para garantizar la seguridad de las personas.

La zona de talleres y patio estará integrada por las vías de: estacionamiento, servicio, limpieza de los trenes y su conexión con la vía principal.

Para desarrollar el diseño de este conjunto se ha tomado como base las características físicas del Equipo Ferroviario propuesto, los requerimientos de los subsistemas ferroviarios, los programas de mantenimiento establecidos y la cantidad de personal que trabajará en este conjunto.

La construcción y operación de los talleres se podrá plantear en etapas, de acuerdo con los requerimientos del servicio. En el plano PL200 (ver anexo de planos) se proponen unas posibles ampliaciones de patios y talleres.

### 1.1 Ubicación

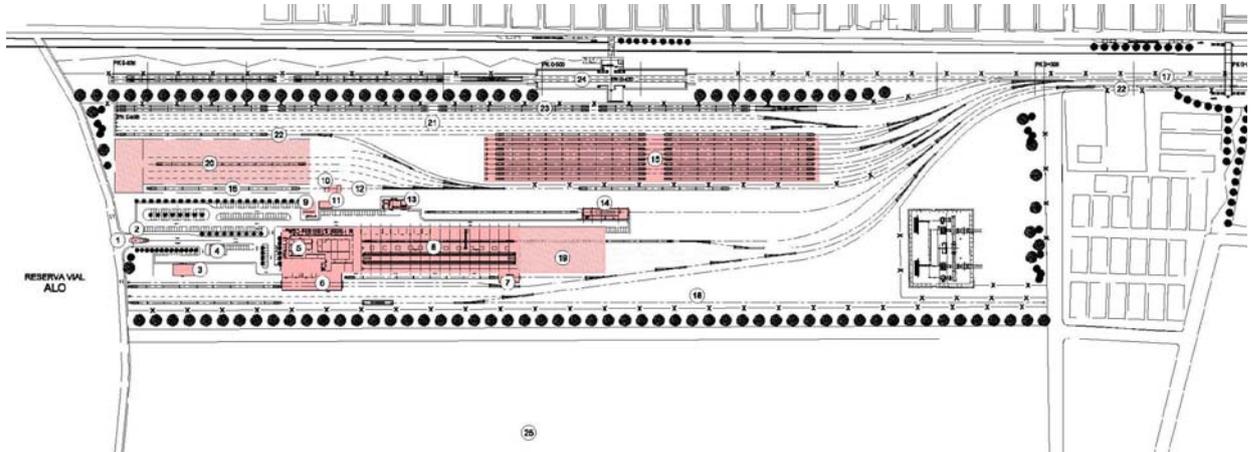
Los patios y talleres previstos para el correcto funcionamiento y operación del sistema se localizan en las proximidades del PK 0+000 de la línea, en la zona de El Tintal en el predio situado al Noroeste de la estación Portal Américas.

(Ver plano PL201)

En este predio se ubican las vías de patio, las vías y los edificios de taller y anexos, y la subestación de tracción.

Al localizar estas instalaciones en las proximidades de una zona residencial deberán plantearse las medidas correctoras necesarias para garantizar las protecciones ambientales acústicas y visuales que establezca la normativa vigente.

La propuesta contenida en este documento permite la creación de sendos espacios verdes al Este y al Oeste del predio ocupado por patios y talleres a modo de colchón de protección mediante un parque urbano. El predio del Oeste se encuentra en la actualidad libre de edificación y por consiguiente sería fácil proyectar un equipamiento de estas características.



## 1.2 Requerimientos

Por la diversidad de actividades que se desarrollarán en el conjunto de patios y talleres, y a la interrelación estrecha que existe entre ellas, en el proyecto de básico se establecerá un esquema que asegure la funcionalidad integral de su operación.

Los programas de necesidades detallados en el proyecto básico derivados de lo anterior determinan los espacios necesarios propuestos.

En el Proyecto Ejecutivo se justificará el diseño y el uso de patios y talleres, basándose en las necesidades propias de la operación y mantenimiento de la PLM, respetando los procedimientos de mantenimiento indicados por los fabricantes de equipos, la experiencia obtenida en otros sistemas de transporte similares y en apego a las normas aplicables.

En la zona de patios y en los talleres se ubicarán las instalaciones y equipos para mantener íntegros todos los componentes técnicos, en un estado seguro y confiable, y permitir el estacionamiento de las unidades en horas de baja afluencia de pasajeros (horas valle) o fuera de horas de servicio, así como los vehículos auxiliares.

Las principales instalaciones ubicadas en esta zona son:

1. Área administrativa, Centro de control y capacitación
2. Área de sanitario, vestidores y regaderas.
3. Talleres de mantenimiento de Equipo Ferroviario.
4. Almacenes.
5. Taller de vías.
6. Taller del subsistema de energía.
7. Taller de catenaria.
8. Taller de señalización.

9. Vía de lavado.
10. Vía para el reperfilado de ruedas.
11. Vía de pruebas.
12. Vías de estacionamiento (Patios)

Estas instalaciones, incluyendo las vías en los talleres, están convenientemente localizadas para minimizar los tiempos de mantenimiento y las maniobras de cambio de formación de trenes.

Las entradas y salidas de los talleres hacia la línea o hacia la zona de patios se realizarán sin sistema de conducción automática. Los trenes serán conducidos por personal de taller hasta la vía de transferencia automático-manual, en la que el tren quedará listo para su funcionamiento automático hacia la zona de estacionamiento o hacia la línea.

Los movimientos de los trenes en los patios, así como de las entradas y salidas de los mismos, estarán regulados y controlados por el puesto de control central (PCC) ubicado en la segunda planta del edificio de talleres.

El PCC se podría ubicar en cualquier otro punto, en cualquier caso preferiblemente cerca de la PLM para facilitar las conexiones con los elementos de campo.

Al salir los trenes del servicio, podrán seguir itinerarios directos hacia los patios y talleres, considerando las opciones siguientes:

- Pasar a los talleres de mantenimiento del Equipo Ferroviario. En la zona de transferencia automático manual se subirá un agente al tren y lo conducirá hasta la zona del taller correspondiente. El movimiento del tren estará gestionado por el Puesto de Control del Taller.
- Pasar a las vías de lavado o limpieza. (equivalente al la entrada al taller de mantenimiento)
- Pasar a las vías de estacionamiento. Esta acción se realiza de forma automática y controlada por el PCC. No es necesaria la actuación del personal del taller.

Se ha implantado una vía de pruebas cuyas dimensiones estará sujeta al Proyecto Ejecutivo, en función del dimensionamiento de las instalaciones finales de esta zona. La vía de pruebas tendrá la longitud suficiente que permita, con seguridad, que los trenes alcancen la velocidad máxima para verificar dinámicamente los principales equipos del Equipo Ferroviario. En los planos adjuntos en el anexo se ha dibujado una vía de 925m.

Para la reperfilación de las ruedas del material ferroviario se ha previsto la instalación de un torno rodero subterráneo en la nave adyacente a la nave principal, en una vía en la que no se afectan las actividades de mantenimiento.

Para los servicios de los talleres se ha considerado un compresor para aire comprimido, contenedores y bombas para aceite y grasa, entre otros.

En la vía de lavado quedará instalada una máquina de lavado exterior de los coches. Para cumplir con la normativa ambiental vigente se deberá diseñar un sistema de recogida y separación de grasas,



fundamentalmente en la vía de lavado y en la zona de cambio de aceite de los vehículos, antes de verter al agua usada a la red general.

Igualmente se ha previsto una zona para la recogida de material de deshecho que será llevado al vertedero correspondiente en coordinación con las entidades locales encargadas.

## 2 PROGRAMAS DE NECESIDADES Y ARQUITECTONICOS

El Proyecto Ejecutivo de Patios y Talleres se elaborará en base a los programas de las necesidades, a los programas arquitectónicos y a los esquemas de funcionamiento particulares del conjunto el cual quedará plasmado en los documentos necesarios para la correcta ejecución de las Obras.

Los conjuntos donde se ubican los edificios de patios y talleres cuentan con estacionamiento para vehículos particulares para empleados y visitantes y vehículos de servicio, de acuerdo a los reglamentos aplicables los cuales serán clasificados de acuerdo a su uso.

Los edificios de servicio estarán divididos de acuerdo a las actividades que en ellos se desarrollen.

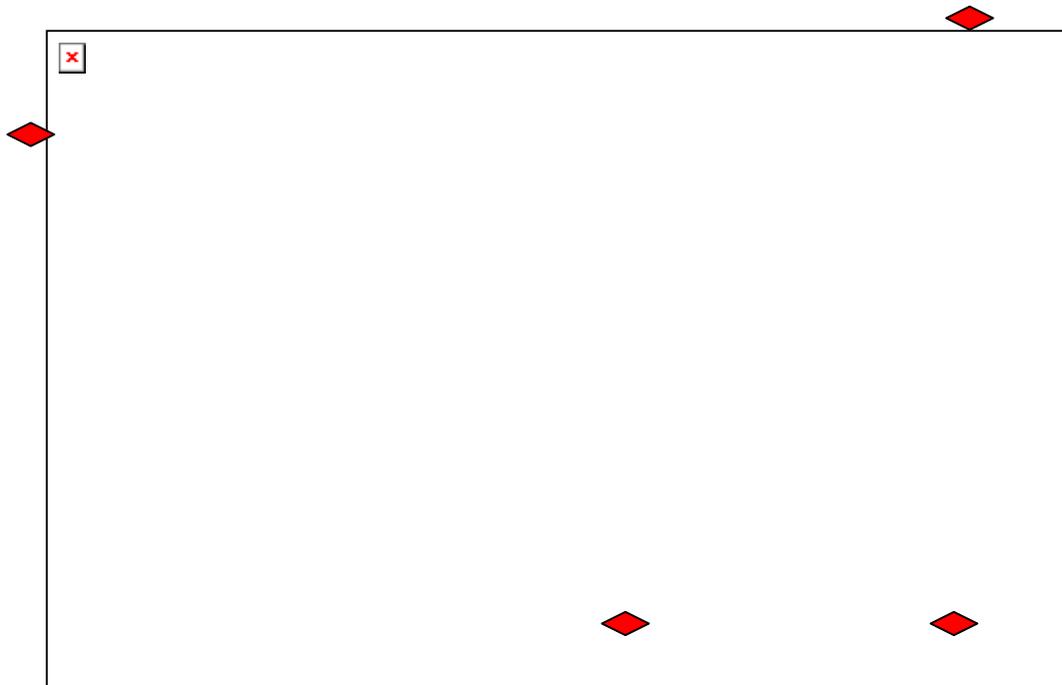
- Área de servicios generales (edificio administrativo)
- Subestación eléctrica y caseta de acometida
- Depósito de agua para incendios y riego y lavado
- Planta de tratamiento de aguas
- Talleres de mantenimiento, menor y mayor, del Equipo Ferroviario
- Talleres auxiliares y almacenes
- Caseta de control de acceso al recinto
- Depósito de basura industrial
- Taller de vías
- Taller del subsistema de energía
- Taller de catenaria
- Taller de señalización
- Vías de estacionamiento
- Vía de lavado, de lavado exterior
- Vía para el reperfilado de ruedas y nave
- Vía de pruebas

## 2.1 Áreas de servicios generales (Edificio Administrativo)

Para el diseño del edificio administrativo se analizará el programa de necesidades y arquitectónico definitivos basados en la operación del edificio y su equipamiento, y posteriormente se desarrollará un diagrama de funcionamiento dividido en zonas las cuales se deberán esquematizar y dimensionar con una disposición armónica y funcional en lo que al amueblado y equipamiento se refiere.

En el Proyecto de Ejecución se diseñarán y dimensionarán las circulaciones peatonales de servicio y emergencia suficientes para encauzar a las personas de manera ágil y segura en todo momento. En el proyecto conceptual ya se han previsto tres vías de evacuación desde la planta primera por núcleos (3) de escaleras de manera que la evacuación se realice lo más rápido posible.

(Ver plano PL204)

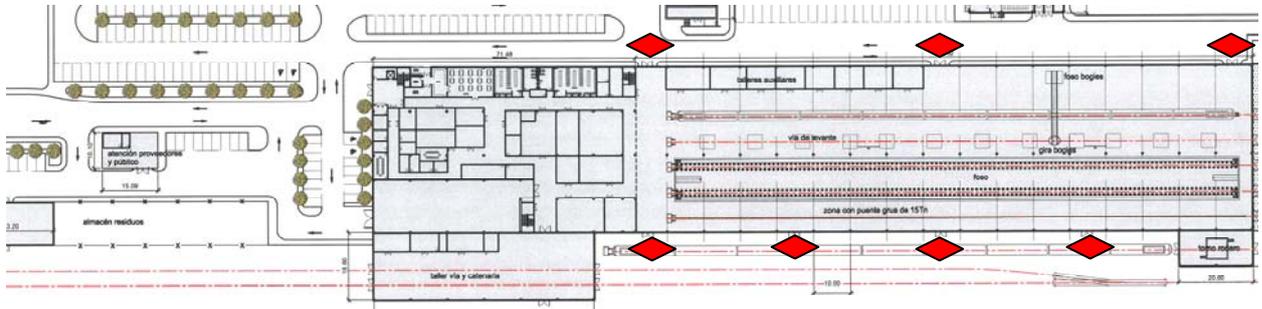


Salidas principales de evacuación

En el proyecto conceptual se propone albergar todas las dependencias administrativas, distribuidas en dos plantas, bajo el mismo techo de la nave de talleres y en contacto directo con esta.

La nave de mantenimiento, la del torno rodero y la nave de vía y catenaria disponen de salidas de evacuación (ver croquis adjunto) además de las puertas de acceso del material móvil.

Planta Primera: (Ver plano PL202)



◆ Salidas principales de evacuación

Es la construcción donde se alojarán las oficinas generales del Metro, podrá estar integrada, entre otras, por las siguientes áreas:

1. Administración. Es la zona donde se ubican las oficinas administrativas de los talleres. Se diseñarán espacios para oficinas de dirección y gerencias (Administración y contabilidad, recursos humanos, jurídica y vigilancia, programación e informática) y salas de juntas, entre otras.
2. Archivo técnico. Es el espacio destinado a resguardar toda la información documental de todos los subsistemas ferroviarios del Metro, apegándose a las reglas de seguridad en la materia. Su diseño contará con espacios, mobiliario y equipo apropiado a este fin.
3. Adjunto a este archivo técnico, se preverá una sala de consulta o biblioteca; cuyo diseño contará con espacios, mobiliario y equipo apropiado a este fin.
4. Capacitación. Es la zona donde se ubican las aulas y cuartos de material didáctico para prácticas. Se diseñarán espacios y preverá mobiliario adecuado para realizar la capacitación, inicial y repetitiva, necesaria para el personal involucrado en el manejo y mantenimiento de los equipos. Se proporcionará al personal, los cursos de capacitación que incluirán la operación, el funcionamiento, mantenimiento y software utilizado en la programación. Para la capacitación se dispondrá de material didáctico y se realizarán prácticas experimentales con equipos semejantes a los definitivos.
5. Servicio médico para atender las emergencias en su fase inicial existirá una sala de primeros auxilios y estacionamiento para una ambulancia próximo a dicha sala.
6. Comedor y cocina, se podrá dar este servicio, por lo que se determinará su dimensión y equipamiento, así como la forma de operar.
7. Patio de servicio con área de descarga y depósito de basura orgánica; su dimensionamiento dependerá del área y tipo de servicio que se dará en el comedor.
8. Los núcleos para sanitarios y cuartos de aseo en los edificios se dimensionarán y equiparán de acuerdo a lo que indican las normas correspondientes sin olvidar el equipamiento para personas con capacidades diferentes. En el caso particular de los talleres, estos contarán adicionalmente con un núcleo de sanitarios para empleados que incluyen vestidores y regaderas.

9. Permanencias de personal técnico. Se diseñarán espacios apropiados para el descanso del personal de mantenimiento.

Para dimensionar el edificio, áreas y locales, se analizará el programa de necesidades y se establecerá un programa arquitectónico funcional de acuerdo a la operación propuesta. Con la finalidad de optimizar los servicios, se considera la posibilidad de ubicar la zona de administración y de control de servicio en el mismo edificio.

## 2.2 Puesto de Control Centralizado - PCC

Es la sala desde la cual se controlará y regulará la operación del servicio, así como el control del suministro de energía eléctrica, el control y vigilancia de las estaciones del metro, el acceso a las subestaciones y todo el recinto de patios.

La línea estará gobernada desde el Puesto de Control Centralizado (PCC), situado en la segunda planta, en el que se integrarán todas las siguientes funciones que sean necesarias para el correcto funcionamiento de la línea. (Ver plano PL205)



## 2.3 Subestación eléctrica y caseta para acometida

Para alumbrado y fuerza se requerirán espacios apropiados, cuyas dimensiones dependerán de las características particulares de los equipos.

Las preparaciones para su conexión y las canalizaciones serán el producto del diseño específico del conjunto.

En el edificio de la subestación se alojarán los equipos de medición de la suministradora de la energía eléctrica. Sus características y dimensionamiento se determinarán en conjunto con la citada suministradora.

Formando parte de este edificio se habilitará una sala para alojar los equipos de medición de la suministradora de energía eléctrica cuyas características y dimensionamiento se determinarán en conjunto con la citada suministradora.

## **2.4 Cisterna y cuarto de máquinas para los edificios de servicio. Planta de tratamiento.**

El dimensionamiento y equipamiento de este local (celdas de almacenamiento de la cisterna) estará en función del requerimiento del o los edificios.

El volumen requerido para servicio, protección contra incendio y reserva se determinará de acuerdo a lo estipulado en las normas correspondientes.

El volumen requerido para servicio, protección contra incendio y reserva se determinará en el proyecto de ejecución de acuerdo a lo estipulado en las normas correspondientes.

En caso de considerarse necesario se construirá una planta de tratamiento de aguas para dar servicio a los edificios que lo requieran.

## **2.5 Talleres de mantenimiento**

Se preverán todos los elementos estructurales y preparaciones civiles y de espacio para el equipamiento de los talleres y servicio de apoyo, en los espacios a cielo abierto y en las naves, donde se dará el mantenimiento de acuerdo con las características físicas del Equipo Ferroviario. Estas áreas contendrán, entre otros, los equipos e instalaciones fijas, fosas de revisión e intercomunicación y accesos a los tres niveles de los trenes siguientes:

- Inferior: Bogies.
- Intermedio: Cajas o estructura.
- Superior: Techo y pantógrafos.

Los talleres correspondientes a cada especialidad contarán con las herramientas e instalaciones necesarias para el mantenimiento de los equipos, la fabricación y reparación de piezas, incluyendo instalaciones para el almacenaje de partes de refacción y herramientas.

Sin embargo en el proyecto ejecutivo, se optimizará el aprovechamiento de las instalaciones, herramientas y equipos de los diferentes talleres de mantenimiento para la realización de la mayor parte de trabajos que sea posible y conveniente.

A continuación se presenta una relación básica de equipos para las instalaciones de los talleres antes indicados:

- Equipo de reperfilado, torno rodero.
- Equipo de emergencia para encarrilamiento de coches.
- Equipo de recolección de aceite usado.

- Suministro de aceite nuevo.
- Medios de levante.
- Plataforma para trabajo sobre techo.
- Grúas (un puente grua de 10Tn y varias (2) de 2Tn)
- Aspiradoras industriales.
- Montacargas.
- Equipo de soldadura autógena.
- Aparato para soldadura eléctrica.
- Extractor de gases.
- Prensa hidráulica.
- Cargador de baterías.
- Limpiadora de alta presión con agua caliente.
- Banco de desmontaje de bogies.
- Mesa de medición y ajuste de bastidor de bogies.
- Equipo hidráulico para desmontaje y montaje de cojinetes.
- Herramientas especiales para montaje/desmontaje de las ruedas.
- Plataforma de tijeras para facilitar el acceso al techo del vehículo con equipo de accionamiento.
- Equipo de generación de aire comprimido.

### **2.5.1 Actividades de mantenimiento menor**

En el taller de mantenimiento se llevarán a cabo los trabajos de mantenimiento menor preventivo y la reparación de averías de primer nivel. El taller de mantenimiento tendrá la longitud requerida en función de las características del Equipo Ferroviario definitivo habiéndose diseñado en el proyecto conceptual para una longitud de tren de 153 m (9 coches). Algunas verificaciones de los vehículos y la preparación para la operación de los trenes podrán realizarse en estos talleres o en las vías de estacionamiento.

El mantenimiento preventivo menor comprende el conjunto de actividades, definidas según criterios determinados en el diseño de los equipos y componentes, para reducir la probabilidad de falla de los mismos. Estas acciones se efectuarán según un programa establecido en función del tiempo de servicio, del recorrido realizado o del estado que presenten los equipos y sus componentes. Por lo tanto, los intervalos de mantenimiento menor podrán ajustarse en función del comportamiento y resultados observados, así como de la experiencia.

En las actividades correspondientes al mantenimiento menor se incluirán pruebas de entrada, que deberán realizarse al tren a su llegada a los talleres, para detectar anomalías no reportadas y darles solución.

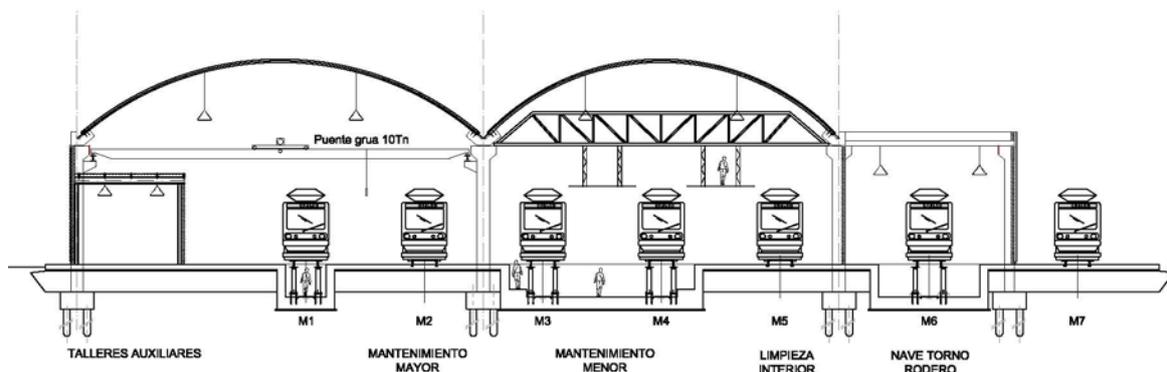
Los trabajos de mantenimiento preventivo menor se llevarán a cabo en vías con fosa, preferentemente durante el día, logrando la mínima afectación a la disponibilidad de los trenes para el servicio.

La programación de los trabajos de mantenimiento se realizará en períodos definidos, distribuyendo los trabajos en diferentes intervalos de forma tal que el tiempo de detención de los trenes en los talleres siempre sea igual y mínimo.

Algunos trabajos de revisión de los trenes se realizarán durante las horas valle, respetando los procedimientos establecidos.

Se dispondrá una vía para realizar trabajos imprevistos que se puedan llevar a cabo en un tiempo máximo de un día, la cual deberá ser independiente de las vías asignadas a los trabajos programados.

Las fosas de las vías del taller de mantenimiento se extenderán a lo largo de las vías. Las fosas permitirán realizar trabajos a los costados, bajo el bastidor de los coches, debiendo estar bien iluminadas hacia abajo y hacia arriba.



Para las vías de mantenimiento menor el proyecto básico prevé un único foso quedando perfectamente comunicadas las dos zonas de trabajo bajo las vías. El foso queda accesible por escaleras y rampas en la parte central de manera que se pueda acceder con el equipamiento necesario para las labores de mantenimiento.

En las fosas se realizarán los trabajos sin riesgo alguno, para lo cual contarán con las instalaciones necesarias para los trabajos de mantenimiento. Al menos contarán con instalaciones eléctricas, aire comprimido y agua. La fosa contará con instalaciones de suministro y recolección de aceite (nuevo y usado), que no esté conectada al drenaje.

Para los trabajos de mantenimiento sobre el techo de los vehículos se preverán plataformas y los medios necesarios para retirar e instalar los equipos del techo (pantógrafo, pararrayos, entre otros).

### 2.5.2 Actividades de mantenimiento mayor

En este taller se realizarán los trabajos de mantenimiento y reparaciones mayores, que requieren de tiempos largos de detención de los coches y de los equipos intervenidos. Se definirán y aplicarán en estos trabajos, programas y procedimientos que minimicen el tiempo de detención de los coches.



El mantenimiento mayor comprende actividades establecidas para lograr recuperar los niveles de confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos y componentes del Equipo Ferroviario. Estas acciones se aplicarán sistemáticamente, según un programa establecido en función del kilometraje recorrido por los trenes y del estado que presenten los equipos y sus componentes, aunque estos períodos podrán ajustarse en función del comportamiento y resultados observados y la experiencia.

Los trabajos de mantenimiento mayor se distribuirán en el tiempo, en períodos que permitan optimizar las cargas de trabajo de este taller y optimicen el tiempo de detención de las unidades por este motivo, dando siempre prioridad a su disponibilidad para el servicio.

El taller de mantenimiento contará con diferentes talleres auxiliares para la realización de trabajos de mantenimiento mayor de componentes eléctricos, electrónicos, neumáticos, mecánicos y de acabados, y también tendrán dentro de sus funciones la reparación de los mismos.

La capacidad de los talleres deberá ser suficiente para las necesidades que se presenten desde el inicio del servicio del Metro y las que se requieran a futuro; estas necesidades estarán determinadas principalmente por la flota en servicio.

En el taller de mantenimiento mayor se preverá la instalación de medios con capacidad para levantar un coche y también un foso baja bogues equipado para el cambio de bogies. Para este objeto, se contará complementariamente con una grua de 10Tm, un foso y una mesa gira bogues y de las instalaciones que permitan el traslado de los bogies u otros equipos a los talleres de reparación.

Además, para el desmontaje y retiro de equipos instalados bajo el bastidor de los coches las vías contarán con una plataforma de levante que facilite esta actividad.

La nave del taller de mantenimiento contará, al menos, con las siguientes posiciones de trabajo e instalaciones, las que no son limitativas; las instalaciones definitivas dependerán del proyecto y procedimientos que se establezcan y serán definidas con detalle en el proyecto ejecutivo.

1. Vías con fosa para trabajos de revisión general. Principalmente contarán con grúas de la capacidad de carga requeridas, prensa hidráulica, etc. entre otros.
2. Vía de limpieza de bogies, con agua caliente a alta presión, tinas de lavado, áreas de desarmado, armado y almacenamiento de bogies, bastidores y ejes, así como instalaciones para maniobras y traslado.
3. Vía para trabajos de reparación, que deberá contar con equipo de elevación de vehículos para facilitar y agilizar los trabajos.
4. Talleres auxiliares eléctrico, electrónico, neumático, mecánico y de acabados.
5. Almacenes.
6. Depósito para basura industrial, materiales y sustancias peligrosas.

## **2.6 Talleres auxiliares y almacén**

En los talleres auxiliares se llevará a cabo la rehabilitación de los equipos susceptibles de recuperarse, para su posterior reincorporación al servicio.



Los talleres auxiliares son espacios en donde se desarrollarán actividades de mantenimiento específicas y su dimensionamiento y diseño estará de acuerdo a los requerimientos del equipamiento.

Se prevé las preparaciones civiles necesarias para las instalaciones de los equipos que se utilizarán en los talleres donde se proporcionará el servicio de apoyo al taller de mantenimiento del Equipo Ferroviario y se proporcionará el mantenimiento a las instalaciones fijas.

De acuerdo a su clasificación los talleres auxiliares de mantenimiento podrán estar divididos según:

Para trenes:

1. Talleres de mantenimiento del Equipo Ferroviario.
2. Taller de vías.
3. Taller del subsistema de energía.
4. Taller de catenaria.
5. Taller de señalización.
6. Otros.

Para las instalaciones fijas:

1. Taller de carpintería y poliéster
2. Taller mecánico.
3. Taller eléctrico.
4. Taller de soldadura o pailería.
5. Albañilería y acabados
6. Otros.

Para el mantenimiento mayor se instalarán como mínimo los talleres auxiliares siguientes, que tendrán la capacidad de atender en cualquier momento actividades de mantenimiento y reparación, independientemente de que se contraten con terceros algunos servicios:

- Taller para equipos eléctricos; contará con instalaciones para el mantenimiento de equipos eléctricos como motores de tracción, ventilación, disyuntores, entre otros.
- Taller para equipos electrónicos y equipos informáticos.
- Taller para equipos mecánicos y neumáticos, con instalaciones para el mantenimiento y reparación de bogies, de acopladores, asientos, ventanas, pasamanos, válvulas, compresor de aire, cilindros de freno, entre otros.

- Taller de instrumentos, para la atención de instrumentos de medición, manómetros, voltímetros, amperímetros, mecánica de precisión, entre otros.
- Taller de puertas, con bancos de ajuste y pruebas.
- Taller de carrocería, para reparación de daños de chapa y trabajos de soldadura.
- Taller de pintura, para pintura parcial y completa de cajas de vehículos y partes, deberá contar con cabina de pintura e instalaciones requeridas.
- Taller de reductores, ejes, engranajes y ruedas.

## 2.7 Almacenes

El almacén es el edificio o nave donde se guardará y controlará todo el material, herramientas, insumos y los equipos que se emplearán en el Sistema Metro.

Esta área deberá contar con espacios suficientes para alojar los dispositivos de almacenamiento y con una zona para carga y descarga.

## 2.8 Vehículos auxiliares

Con base en el programa de conservación de instalaciones fijas, al tipo y número de vehículos auxiliares y al personal que trabajará en esta zona, se dimensionarán y diseñarán las obras civiles del taller para estos vehículos y su equipamiento.

El depósito de materiales pesados para las instalaciones fijas consistirá en una plataforma donde se estibarán los materiales pesados para el mantenimiento de las instalaciones fijas, su construcción considerará las preparaciones necesarias para el movimiento de los materiales.

## 2.9 Depósito de basuras industriales

Para depositar transitoriamente los desechos sólidos producto de la operación en talleres, se considera un espacio donde se almacenará de manera clasificada la basura industrial sólida o líquida (contenedores especiales) y los residuos considerados peligrosos, antes de disponer de ella de manera segura. Este depósito se ubica en un sitio fácilmente accesible para su recolección junto al acceso principal del recinto de patios y talleres.

Las características de este depósito respetarán las normas ecológicas y de construcción aplicables.

La transferencia de basura se programará con los departamentos de limpia de las delegaciones y municipios correspondientes.

## 2.10 Vías de estacionamiento – Patios o cocheras

Las vías de estacionamiento de trenes dispondrán de andén entre y a lo largo de cada 2 vías para que el personal de mantenimiento y operación pueda acceder a los trenes sin dificultad. Estos andenes deberían tener focos para iluminar el interior de los trenes y también fuentes de agua para realizar si hiciese falta algún tipo de limpieza interior del compartimiento de pasaje.

En la zona de transferencia automático – manual se dispondrá de un andén para que el personal pueda subir y bajar de los trenes.

## 2.11 Vías de servicio

Se ubicarán cerca del taller de mantenimiento de trenes, donde interfieran lo menos posible con la operación de las vías del patio:

- Vía de reperfilado de ruedas con su foso de torno en el interior de una nave.
- Vía de pruebas con su foso de inspección.

Para reperfilar las ruedas de los trenes se construirán las preparaciones civiles para instalar un torno rodero subterráneo de acuerdo con las necesidades del equipo.

Se preverán las preparaciones civiles para la implantación de una vía de pruebas, así como su equipamiento, quedando esto sujeto al Proyecto Ejecutivo.

## 2.12 Vías de limpieza

Este proyecto conceptual propone la mejor ubicación para:

- La vía de lavado exterior
- Las vías de limpieza interna (dentro de la nave taller)
- La vía de limpieza de equipos bajo bastidor (dentro de la nave taller)

Se preverán las preparaciones de las obras civiles para las instalaciones de los equipos que se utilizarán en cada caso una vez definidos los equipos en la fase de Proyecto de Ejecución.

El agua para el lavado del exterior de los trenes podrá ser agua tratada. En la vía de lavado se preverá la canalización de los escurrimientos. En su caso, se preverá la instalación de un sistema de recuperación de agua y de acuerdo al volumen requerido y a la legislación aplicable, se evaluará la conveniencia de instalar un equipo de tratamiento. Asimismo se prevé la construcción de registros separadores de grasas antes de verter el agua a la red general.

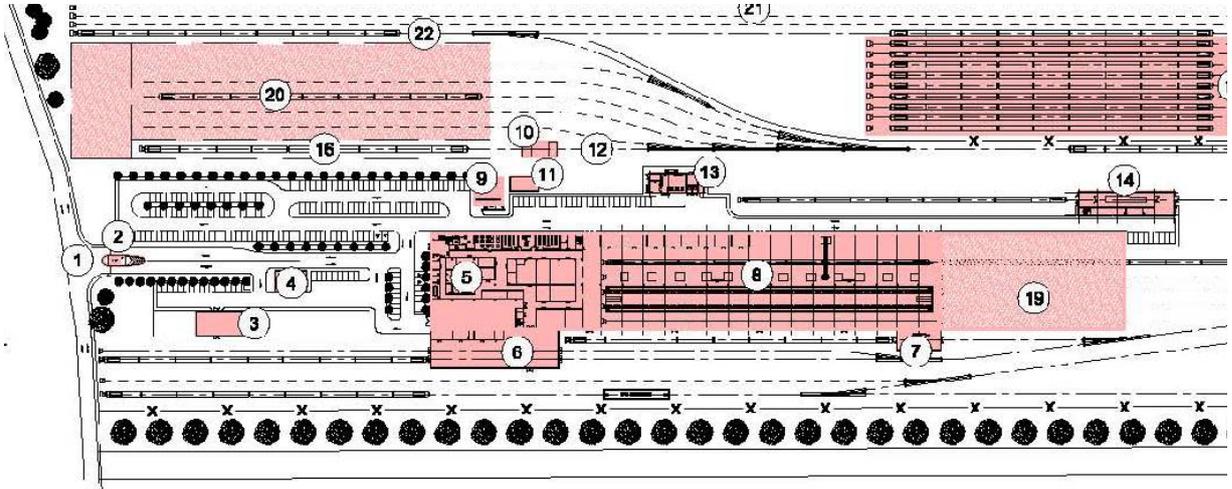
Las vías para la limpieza interior de los trenes serán dotadas con accesos al nivel del piso de cada unidad, suministro de agua, suministro de energía eléctrica, locales para los utensilios y productos empleados, así como depósitos para residuos.

El diseño de las instalaciones de la vía de limpieza de equipos bajo bastidor será acorde con el método que se adopte para la realización de esta actividad.

## 2.13 Vialidades internas del conjunto de talleres

El conjunto de patios y talleres contará con vialidades internas para comunicar entre si las áreas. Fundamentalmente los edificios se ubican en la esquina Oeste de la parcela próximos al vial de acceso principal en paralelo al canal existente, minimizando de esta forma la necesidad de viales internos. En la zona de acceso a los edificios se prevén zonas de estacionamiento para el personal, proveedores y visitas.

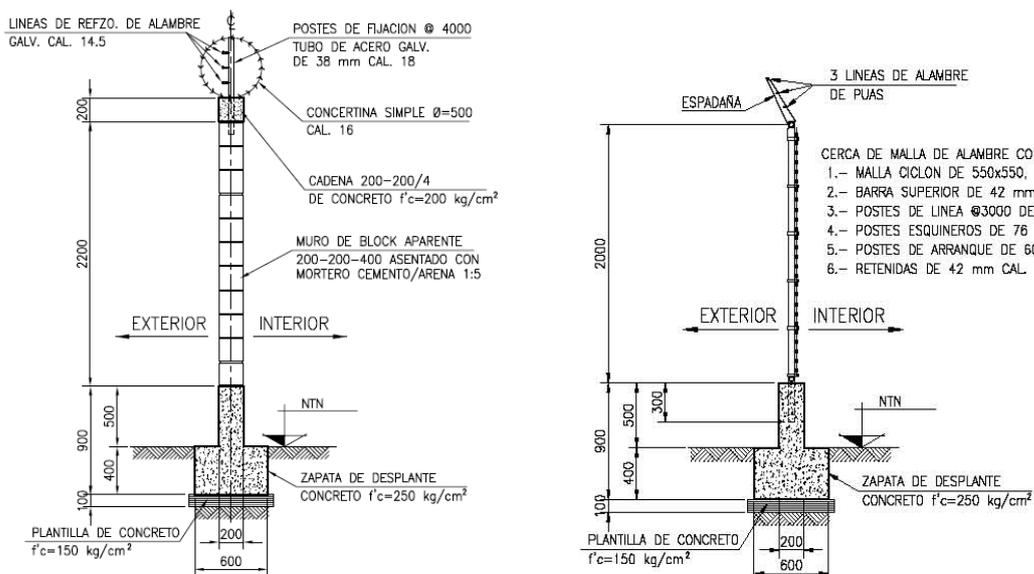
En caso de circulaciones para vehículos de servicio y emergencia, se preverá, en el Proyecto Ejecutivo, las condiciones de operación normal y de emergencia indicadas en los reglamentos aplicables.



## 2.14 Confinamiento perimetral

Los predios para el conjunto de talleres y edificios de servicio tendrán bardas o rejas para confinar las instalaciones. Sus características físicas garantizarán la seguridad del personal, los Bienes Inmuebles y demás instalaciones afectos a la prestación del Servicio de Transporte.

La especificación de la malla de alambre a utilizar deberá considerar resistencia a uso rudo y dimensiones de apertura entre elementos que no permita la introducción de elementos extraños.



Confinamiento de talleres y patios (perimetral e interiores respectivamente)



### **2.15 Señalamiento gráfico**

El señalamiento gráfico, a definir en el Proyecto Ejecutivo, estará destinado a prevenir, restringir, informar, encausar y orientar a los usuarios y empleados en el correcto uso de las instalaciones de talleres y edificios anexos.

Su diseño, distribución y colocación se llevará a cabo bajo normas o estándares que hayan sido empleados en instalaciones con características y operaciones similares.

Los símbolos y leyendas empleados, serán de fácil identificación por usuarios y empleados.

El señalamiento gráfico y de emergencia cubrirá, al menos, los aspectos siguientes de manera clara y específica: evacuación e identificación del sistema.



PRODUCTO N° 28

VÍA

Parámetros de diseño funcional de la infraestructura

MB-GC-ME-0028  
Rev. 2 Pág. 55 de 173

---

**VÍA**



## 1 INTRODUCCIÓN

El objeto de este apartado es establecer la propuesta de las secciones tipo y armamento de vía para el diseño de la PLM.

Partiendo de la consideración de que se va a definir una infraestructura tipo metro convencional la opción más aconsejable desde el punto de vista operativo es la de disponer vía en placa, como ya se ha propuesto en documentos anteriores. Sobre esta premisa y teniendo en cuenta los parámetros que se definen a continuación se establecen las diferentes secciones en función de la ubicación de la infraestructura.

## 2 PARAMETROS BASE DE REFERENCIA

Los datos de partida para la definición de las secciones tipo propuestas son los siguientes:

- Ancho de vía: 1435 mm.
- Vía doble electrificada sobre catenaria rígida en zonas soterradas y convencional en tramos a cielo abierto.
- Anchura del material móvil: 2,7 m.
- Distancia de eje de vía a borde de andén: 1,50 m.
- Distancia entre cota de carril y borde de andén: 1,05 m.
- Carga por eje del material móvil: 13 T.
- Entre-eje: 3,4 m en recta. Aumentando en función del radio establecido y las características del material móvil a disponer.
- Anchura de los pasillos de evacuación laterales: 1 m.

### 3 SECCIONES TIPO DE LA LÍNEA

La definición de las diferentes secciones de vía surge de las diferentes características del entorno urbano en el que se ubican, ya que cada una tiene sus particularidades específicas y sus necesidades concretas. De este modo, en los tramos soterrados se busca un diseño en el que además de cumplir con las premisas básicas de satisfacer las necesidades de guiado del material móvil en condiciones de seguridad y comodidad, se permita disponer de ciertos elementos que aseguren una buena evacuación en caso de emergencia y de acceso a los vehículos de socorro en caso necesario. Por su parte, en los tramos a cielo abierto se tiende a disponer secciones integradas con el entorno en el que se sitúan y con buen aislamiento de ruido y vibraciones para evitar molestias a la población que se sitúa en sus inmediaciones.

Como casos especiales, se trata el tema de las secciones a disponer en los patios y talleres, además de aquellas otras del recorrido con especiales demandas de aislamiento, como pueden ser zonas de alta sensibilidad a las molestias generadas por el paso de los trenes (hospitales, centros educativos, salas de música, etc).

#### 3.1 Sección en túnel y trinchera de acceso

La mayor parte del recorrido propuesto para la PLM (aproximadamente el 85% de la línea) discurrirá por debajo del nivel del terreno, por tanto esta sección será la que mayor peso va a tener dentro del diseño de la nueva infraestructura.

La anchura total está condicionada por los parámetros base, definidos anteriormente, entre otros, y de manera más significativa, por el gálibo del material móvil y por los requerimientos seguridad para evacuación en caso de emergencia.

Las dimensiones aquí propuestas son orientativas y están basadas en la experiencia del diseño de casos similares. Será en el proyecto de construcción donde se concreten de manera precisa los valores con datos precisos, sobre todo del material móvil.

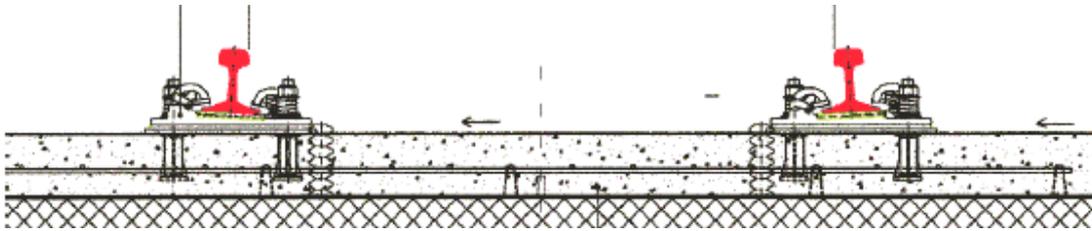
En todo el tramo que discurra por debajo de la cota de terreno circundante, es decir, las trincheras de acceso al túnel, zonas entre pantallas y túnel convencional, la sección propuesta es la siguiente:

- Pasillos laterales de evacuación de 1 m de anchura y un gálibo vertical libre de obstáculos de al menos 2,25 m en ambos lados, bajo los que se dispondrán las conducciones de señalización, energía y comunicaciones necesarias. Junto a los hastiales se dispondrá de un pasamanos anclado al mismo que sirva de ayuda y guía en casos de emergencia. Los pasillos tendrán una ligera pendiente hacía la vía para evacuar posibles filtraciones de agua. Se recomienda disponer un pavimento en estas zonas que sea antideslizante.
- Eje de vía con respecto a borde de pasillo lateral: 1,60 m en recta. En curva se analizará en función del radio, del peralte asociado y del lado de la curva de que se trate (zona cóncava o convexa).
- Entre-eje de vías: 3,4 m en recta. En curva dependerá del radio de la misma y del peralte asociado. Este dato es función directa del tipo de material móvil y sus características.
- Drenaje: sistema de recogida central mediante canaleta corrida y dren colector inferior. La conexión con la canaleta se realizará mediante arquetas dispuestas a intervalos regulares. El agua recogida en los hastiales del tramo soterrado se conectará al colector en las arquetas mediante tubos de unión entre ambos.

- Altura del riel a borde de pasillo lateral: 1,05 m en recta. En curva se determinará desde el hilo alto (lado convexo) o bajo (lado cóncavo) en función del peralte y lado de la curva que corresponda.
- Gálibo vertical: se determinará teniendo en cuenta que se dispondrá de catenaria rígida y sistema de placa directa fijada sobre losa de concreto.

Por tanto, en un tramo recta la anchura mínima propuesta es de 8,6 m entre caras interiores de estructura.

El riel estará apoyado en una capa de concreto de al menos 20 cm de espesor, apto para armar, de una resistencia mínima a compresión de 25 N/mm<sup>2</sup>. Esta capa estará apoyada a su vez sobre otra de concreto de nivelación (de una resistencia a compresión del orden de 15 N/mm<sup>2</sup>). La armadura a disponer en la capa superior en contacto con la placa de asiento se definirá de manera que se evite la fisura y transmita las cargas a las inferiores sin sufrir alteraciones.



La canaleta de drenaje central dispondrá de una rejilla tipo *tramex* galvanizada a lo largo de toda la sección, a nivel de apoyo de vía. La distancia entre arquetas de conexión de la canaleta con el dren inferior se determinará en función de las infiltraciones previstas y la capacidad de evacuación de la misma. El agua recogida por el dren se conectará con los pozos de bombeo a través de las correspondientes arquetas de derivación.

### 3.2 Sección en superficie

En los tramos en que la línea discurre a cielo abierto, se plantea una solución de vía en placa con carril embebido. Esta solución presenta las ventajas de una mayor integración en el entorno, mayor atenuación de ruido y vibraciones, no constituye una barrera infranqueable al paso de otros medios de desplazamiento en caso necesario y puede usarse como vía de evacuación en caso de emergencia.

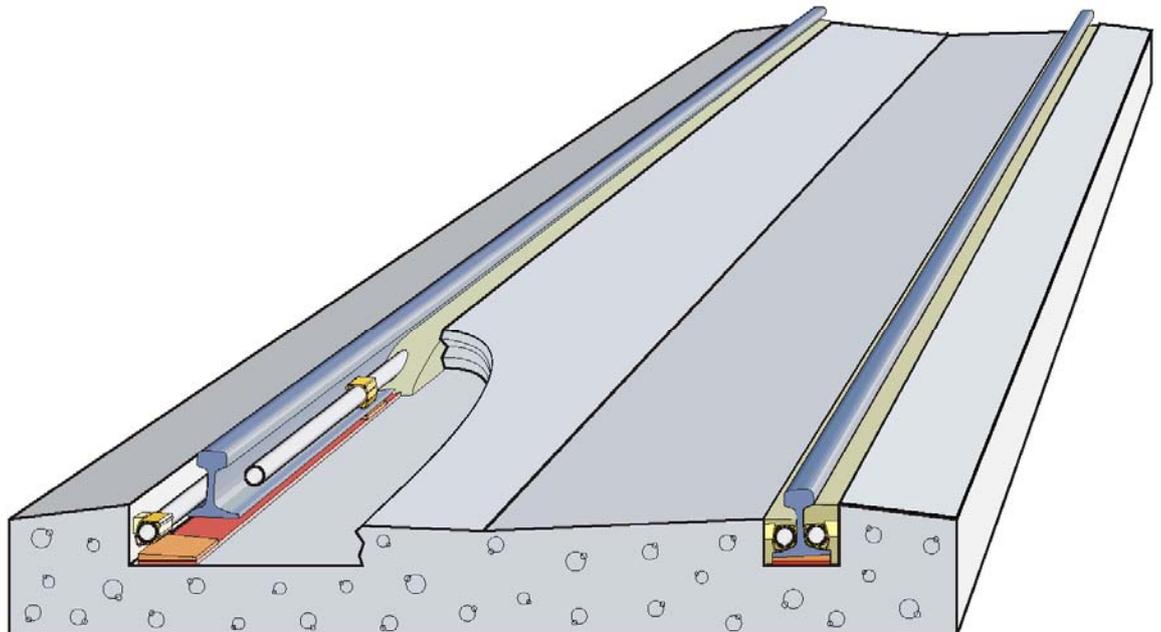
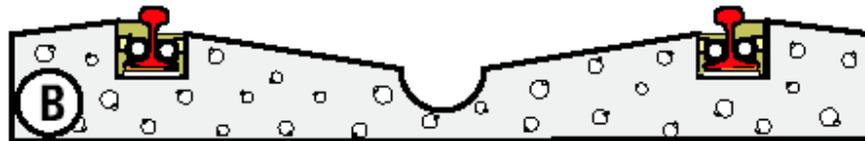
La sección presentaría la siguiente disposición:

- Postes de catenaria dispuestos en los márgenes de la plataforma a ambos lados. La distancia mínima al eje del poste al eje de la vía más cercana será el que determine el estudio de gálibos para el material móvil propuesto, recomendándose una distancia en recta entre ambos ejes de al menos 2,60 m.
- Pasillo de mantenimiento y evacuación: franja de 80 cm situada entre la línea de postes de catenaria y la franja que delimite el gálibo de seguridad de tránsito de peatones. Bajo estos pasillos se situarán las canalizaciones de energía y comunicaciones.
- Zona de tránsito de vehículos ferroviarios: con distancia en recta entre ejes de vía a borde de pasillos de mantenimiento del orden de 1,60 m y entre-eje de 3,40 m en recta.

Con esta disposición, la anchura de plataforma mínima requerida es de 8,60 m. En caso de que la infraestructura disponga de valla perimetral de delimitación/cerramiento, esta se situará por detrás de la línea de postes de catenaria y requerirá aumentar el valor anterior.

La superestructura de la vía estará apoyada sobre una plataforma de características geotécnicas acordes al tipo de solución propuesta, de manera que los asientos previstos a lo largo de la vida útil estén dentro del rango de tolerancias admisibles, en general del orden de 10 mm.

Sobre la plataforma se extenderá una capa de concreto (de una resistencia a compresión del orden de  $15\text{N/mm}^2$ ) que sirva de nivelación a la losa de concreto armado de una resistencia mínima a compresión de  $25\text{N/mm}^2$ . Esta losa armada tendrá unos requisitos similares a los descritos para el caso de la sección en tramos soterrados, es decir, que evite la fisura y transmita las cargas a las capas inferiores sin sufrir alteraciones. Sobre esta losa armada se colocará la capa de terminación con el carril embebido dispuesto sobre canaletas rellenas con material elastomérico que además de fijar el carril tiene unas propiedades elásticas que amortiguan las vibraciones al paso de los trenes (del orden de 10 dB en el rango de frecuencias de 25 a 31,5 Hz).



### 3.3 Sección en estructura

La sección sobre estructura es una particularidad respecto de la sección definida en el apartado anterior para el caso de sección a cielo abierto. En este caso, no es necesaria la capa de nivelación de la losa armada, ya que esta se dispone sobre el propio tablero del puente.

Los bordes de la estructura estarán dotados de barrera y valla de cerramiento que evite la caída de objetos a la vía inferior. A continuación, se dispondrán pasillos laterales que servirán tanto para disponer debajo las canalizaciones de energía y comunicaciones, como para vías de mantenimiento y evacuación. Otra función adicional de estos pasillos laterales, será la de servir de sistema de contención de vehículos para el caso de descarrilamiento a fin de evitar su salida fuera de la estructura.

En este caso los postes de catenaria se propone se dispongan del lado de la vía, de manera que en cualquier caso el ancho libre de paso para el tránsito peatonal sea de al menos 80 cm. El resto de los valores de la sección se mantienen análogos al caso de sección a cielo abierto.



### 3.4 Sección en estaciones

Las secciones en estación constituyen puntos especiales del trazado donde se materializan los accesos de los usuarios a los trenes, y por tanto, se ha de cuidar especialmente la geometría para evitar problemas de acceso al material móvil. En especial se ha de controlar la distancia de la cota de vía al borde de andén y la distancia del eje de vía al borde de andén, de manera que las diferencias que existan entre piso de tren y andén, estén dentro de las tolerancias establecidas y no se produzcan interferencias. En general, puede considerarse como valor orientativo valores de  $\pm 3$  cm en vertical y unos 7 cm en horizontal. Para un material móvil del ancho definido en los parámetros básicos de referencia, la distancia del eje de vía a borde de andén puede ser del orden de 1,50 m.

La superestructura de vía en estos puntos se continúa en función de lo establecido en las secciones adyacentes a las mismas, de manera que si está en superficie se copiará la definida para este caso, y si es soterrada se aplicará la correspondiente a esta solución.

La anchura del andén se dimensionará en función de los estudios de demanda que se realicen, pero se recomienda un mínimo de al menos 4,5 m para el caso general de andenes laterales.



### 3.5 Sección en patios y talleres

Los patios y talleres constituyen una zona de especiales características dentro de la operación de la línea. En ellos se almacenan los trenes fuera del horario de servicio y se realizan las reparaciones y mantenimiento.

En función de las diferentes zonas en la que se sitúa el material rodante dentro de este complejo, será necesario definir un tipo de vía apropiado.

En general, tanto para los accesos, como zonas de almacenamiento, vía de pruebas y circulaciones en general, se propone una solución análoga a la de vía en superficie, ya que permite el tránsito rodado por encima de las vías en caso necesario por cuestiones de mantenimiento y accesibilidad.

En los talleres por su lado es necesario disponer de fosos para inspección y reparación de los elementos situados en los bajos del material rodante. Por tanto, en estas zonas se dispondrá la vía sobre pilares en una longitud tal que permita la inspección de un tren completo. El número de vías sobre pilares es función del parque previsto.



El otro punto de la instalación donde la sección de la vía necesita adaptarse a las características particulares de la operación en la zona de lavado, donde para evacuar con rapidez el agua se propone la utilización de bloques prefabricados aislados.

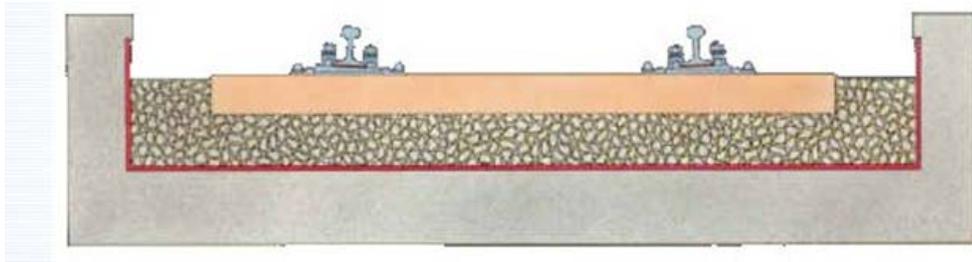


### 3.6 Secciones con atenuación de ruido y vibraciones

En determinadas secciones de la línea será necesario disponer elementos adicionales en la superestructura de la vía que permitan reducir la transmisión de ruido y vibraciones al entorno por el que discurre la infraestructura. Estas zonas son aquellas con elevados condicionantes por la actividad que se desarrolla en los mismos, como son hospitales, centros educativos, salas de concierto, etc. En estos casos, será necesario interponer a nivel vía, soluciones que permitan aislar el conjunto de la infraestructura para mitigar en la medida de lo posible estos efectos adversos.

Será necesario en el proyecto constructivo realizar un análisis de ruido y vibraciones en cada situación particular, para determinar en función del tipo de terreno circundante, velocidad de paso de las circulaciones, distancia del elemento a proteger a la vía,...la solución óptima en cada caso.

A priori, se puede considerar un primer nivel actuando sobre el soporte del raíl, disponiendo suelas con mayor capacidad de aislamiento, y en un segundo nivel, disponiendo una manta elastomérica que separe la losa armada de la capa inferior. Solamente en casos muy excepcionales se recomienda el empleo de losas flotantes sobre muelles por el elevado coste de la solución.



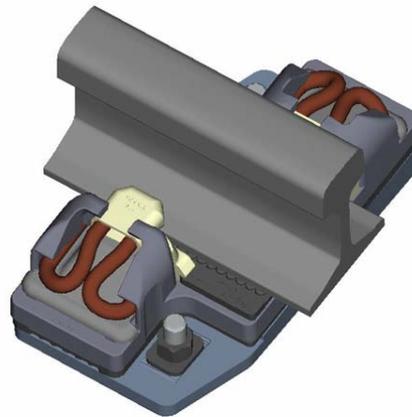


- Menor espesor de losa de hormigón.
- Similares características de aislamiento de ruido y vibraciones que otros sistemas.



En cuanto a las sujeciones propuestas para esta placa, se recomienda del tipo fit and forget por su bajo mantenimiento. Entre los diferentes modelos, se pueden citar las siguientes:

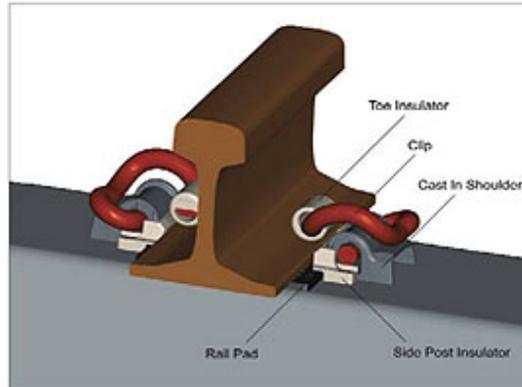
- Fast clip



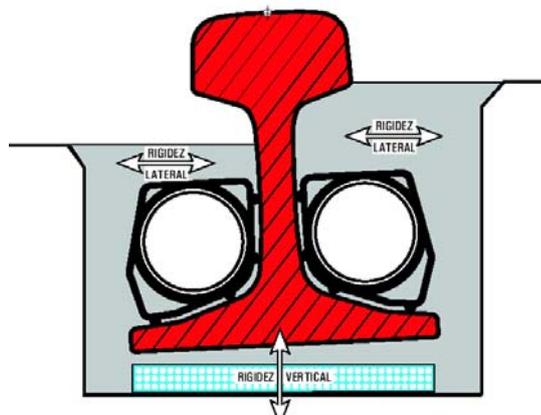
- SKI-1



– E-clip



Por lo que respecta a los tramos en superficie, el concepto de fijación o sujeción desaparece al ser un sistema de apoyo continuo y estar el riel encapsulado en una canaleta recubierto de un material elastomérico que lo confina en la misma. El patín del riel se apoya sobre una suela elástica que le aísla del soporte de concreto.



En el proyecto constructivo correspondiente se fijarán las condiciones que deberán cumplir todos estos elementos en función de la carga por eje del material móvil, la velocidad de proyecto prevista, además de las condiciones de aislamiento eléctrico, protección contra la corrosión y características elásticas para la atenuación de ruido y vibraciones.

#### 4.3 Aparatos de vía

Los aparatos de vía tienen por objeto realizar el desdoblamiento o cruce de vías. De entre las diversas tipologías existentes, en general, los más comunes a utilizar en la PLM serán los desvíos, escapes y *bretelles*. Sus características geométricas dependerán de su situación, ya sea en la línea general o en patios y talleres. Los primeros requieren mayor velocidad de la desviada para agilizar la operación, mientras que en los segundos, está variable no tiene tanta relevancia.

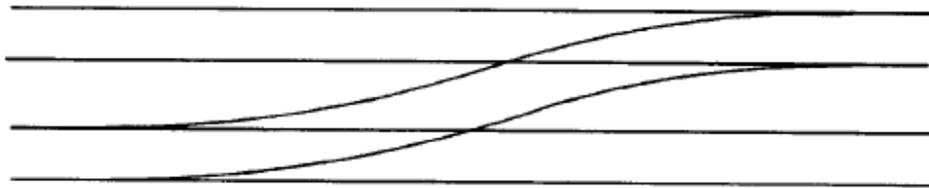


**Leyenda**

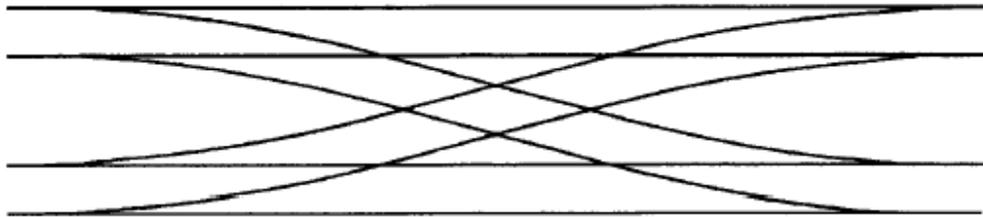
1 Vía directa

2 Vía desviada

DESVÍO



ESCAPE



BRETELLE

En la mayoría de las Administraciones Ferroviarias Metropolitanas se tiende a la utilización de aparatos con trazado tangente. Se recomienda que sean de motor eléctrico y con sistema de encerrojamiento. Asimismo, se considera recomendable la utilización de corazones de punta móvil ya que:

- mejora el confort de la circulación;
- reducción de ruidos y vibraciones;
- reducción del mantenimiento;
- seguridad contra el descarrilamiento.

En cuanto a su ubicación, se recomienda su establecimiento en tramos rectos de pendiente constante.

En cuanto a las tangentes de los diferentes aparatos a emplear suelen ser habituales las de 0,11, 0,14, 0,17 y 0,24 (estas dos últimas para zona de patios y talleres).

Otro elemento que conviene disponer son los calzos eléctricos. Son elementos de seguridad que se disponen en la vía con objeto de impedir el paso de un tren haciéndolo descarrilar. Se colocan normalmente a la salida de patios e impiden que un tren pueda salir a la línea originando un accidente.

En cuanto a la dureza de los elementos a emplear en los cambios, se estará a lo dispuesto en la EN 13232 Aplicaciones ferroviarias – Vía – Cambios y cruzamientos.



#### 4.4 Aparato de dilatación

Aunque a lo largo de la línea sólo existe una estructura, se deberá analizar la necesidad de instalar un aparato de dilatación mediante el oportuno estudio de interacción vía – estructura, en función de la tipología de viaducto diseñado y la longitud dilatable prevista.



PRODUCTO N° 28

ENERGÍA

Parámetros de diseño funcional de la infraestructura

MB-GC-ME-0028  
Rev. 2 Pág. 70 de 173

---

# ENERGÍA

## 1 ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CONSUMIDA

Para la estimación de los consumos, la línea de metro se ha dividido en varios sistemas independientes:

- Sistema energía de tracción.
- Sistema de energía en estaciones.
- Sistema de energía en talleres.
- Sistema de energía en PCC.
- Sistema de energía en túneles.

Como carácter general se han considerado los siguientes datos de explotación de la línea:

**Tabla 1-1. Datos de explotación de la PLM**

Horas servicio	18
Horas sin servicio	6
Horas punta	6
Horas valle	12
Frecuencia HP (s)	180
Frecuencia HV (s)	360

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.1 Sistema de energía de tracción

A partir de datos históricos de otras explotaciones ferroviarias y con la correspondiente adaptación a las características del material móvil planteado para Bogotá se ha estimado la potencia máxima simultánea de cada tren como una potencia media a aplicar a todos los trenes de un carrusel en las condiciones más exigentes. Sobre la frecuencia prevista en hora punta se calculan el número de trenes máximos con el que extraemos la potencia total de tracción. En las condiciones más desfavorables el conjunto de trenes que circulan por el carrusel, demandarán en su conjunto el valor obtenido.

**Tabla 1-2. Cálculo potencia de tracción en hora pico\***

ESTIMACIÓN POTENCIA DE TRACCIÓN	
Potencia máxima simultánea de un tren estimada (kW)	1.020
Longitud de la línea (km)	28,00
Velocidad comercial (km/h)	31
Tiempo de vuelta aprox (min)	110
Número de trenes en el carrusel en hora punta	37
Total potencia de tracción (kW)	37.733

Fuente: Elaboración propia

A partir de las frecuencias previstas se calcula la frecuencia media ponderada como frecuencia promedio para las horas de servicio. Con ella y con el tiempo de vuelta se calculan el número de trenes medios por hora sobre los cuales se aplica un consumo medio para obtener los valores de los consumos diarios y anuales. Igualmente que en la tabla anterior, el consumo medio aproximado por tren se ha obtenido a partir de históricos de otras explotaciones ferroviarias y con la correspondiente adaptación a las características del material móvil planteado para Bogotá.

**Tabla 1-3. Cálculo potencia de tracción diaria por tren**

ESTIMACIÓN ENERGÍA DE TRACCIÓN	
Frecuencia media ponderada (s)	300
N° de trenes medios	22,0
Consumo medio aprox por tren estimado (kW·h)	330
Consumo diario por tren (kW·h)	5.947

Fuente : Elaboración propia

Y así obtenemos los datos de consumo de energía diaria y anual:

Tabla 1-4. Cálculo potencia de tracción diaria y anual

<b>CONSUMO DIARIO (MW·h)</b>	130,61
<b>CONSUMO ANUAL (GW·h)</b>	47,67

Fuente: Elaboración propia

## 1.2 Sistema de energía en estaciones

Las siguientes tablas muestran las potencias instaladas, potencias de consumo y energía diaria y anual consumida para cada una de las 28 estaciones existentes en la línea.

\* La longitud de la línea en los cálculos de potencia de tracción en hora pico corresponde a una longitud aproximada del carrusel, sin tener en cuenta las zonas de estacionamiento.

Para el cálculo de la potencia de consumo se han considerado los siguientes coeficientes de simultaneidad

Tabla 1-5. Coeficientes de simultaneidad

Carga	FS Túnel	FS Exterior
Ascensores	0,20	
Escaleras	0,60	
Ventilación sobrepresión	0,00	
Equipos de agua nebulizada	0,00	
Pozos de drenaje de estación	0,10	
Iluminación estación	0,80	
Iluminación aparcamiento	0,30	0,30
Ventilación andenes	1,00	
Tomas corriente	0,05	
Máquinas de validación	0,50	
Máquinas de venta	0,50	
Sala del jefe de estación	0,80	
Banderola	0,40	
Ventilación dependencias técnicas	0,25	
Cuadros auxiliares CT MT/BT	0,50	
Cuadros auxiliares cámara seccionadores	0,05	
Sala de comunicaciones	1,00	
Sala de enclavamientos	0,10	
Cierre de andenes	0,05	
Protección contra incendios	0,00	

*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 1-6. Superficies de estaciones e instalaciones

ESTACIONES							
	Portal Americas	Casablanca Villavicencio Palenque Bocaya 1° de Mayo	Hospital Kennedy	Av. 68 Parque Nacional Gran Colombia Marly Santo Tomás Av. De Chile Parque de la 93 Ac Calle 10	Río Fucha	Ac 6 Ac 13	NQS
CATACTERÍSTICAS GENERALES ESTACIÓN							
Tipo	Túnel - Terminal	Túnel - Paso	Túnel - Paso	Túnel - Paso	Superficie - Paso	Trinchera	Trinchera - Especial
<b>Ascensores</b>	6	6	6	6	4	3	6
<b>Escaleras mecánicas</b>	16	20	18	24	0	0	2
<b>Superficie aparcamiento</b>	2.555	2.555	2.555	2.555	0	0	0
<b>Superficie estación</b>	3.310	3.310	3.310	3.310	2.542	2.490	4.075
<b>Superficie destinada a instalaciones</b>	1.546	1.546	1.546	1.546	573	573	2.265
Nivel andén	385	385	385	385	573	573	385
Nivel mesanina	0	0	0	0	0	0	0
Nivel intermedio	1.070	1.070	1.070	1.070	0	0	0
Nivel superior	91	91	91	91	0	0	1.880
<b>Superficie Pasarelas</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total Superficie Estación</b>	4.856	4.856	4.856	4.856	3.115	3.063	6.340

ESTACIONES							
	Paloquemao	Estación de la sabana	San Victorino	Av Lima Ac 85	La Rebeca Plaza de Lourdes	Usaquen	Ac 127
CATACTERÍSTICAS GENERALES ESTACIÓN							
Tipo	Trinchera - Paso	Trinchera - Especial	Túnel - Especial	Túnel -Paso	Túnel - Especial	Superficie - Paso	Superficie - Terminal
<b>Ascensores</b>	3	6	4	4	6	6	4
<b>Escaleras mecánicas</b>	0	16	16	16	24	6	6
<b>Superficie aparcamiento</b>	0	0	2.555	0	2.555	0	0
<b>Superficie estación</b>	2.543	4.075	3.900	2.203	3.900	2.543	3.215
<b>Superficie destinada a instalaciones</b>	690	2.265	1.546	1.155	1.546	690	670
Nivel andén	240	385	385	385	385	240	220
Nivel mesanina	0	0	0	0	0	0	0
Nivel intermedio	450	0	1.070	650	1.070	450	450
Nivel superior	0	1.880	91	120	91	0	0
<b>Superficie Pasarelas</b>	749	0	0	0	0	749	749
<b>Total Superficie Estación</b>	3.982	6.340	5.446	3.358	5.446	3.982	4.634

Tabla 1-7. Potencia por estación

Cargas	ESTACIONES						
	Portal Americas	Casablanca Villavicencio Palenque Bocaya 1° de Mayo	Hospital Kennedy	Av. 68 Parque Nacional Gran Colombia Marly Santo Tomás Av. De Chile Parque de la 93 Ac Calle 10	Río Fucha	Ac 6 Ac 13	NQS
	POTENCIA INSTALADA POR ESTACIÓN (kW)						
Ascensores	42	42	42	42	28	21	42
Escaleras	120	150	135	180	0	0	15
Ventilación sobrepresión	11	11	11	11	11	11	11
Equipos de agua nebulizada	30	30	30	30	30	30	30
Pozos de drenaje de estación	16	16	16	16	16	16	16
Iluminación estación	34	34	34	34	22	21	44
Iluminación aparcamiento	13	13	13	13	0	0	0
Ventilación andenes	11	11	11	11	0	11	11
Tomas corriente	29	29	29	29	29	29	29
Máquinas de validación	1	1	1	1	1	1	2
Máquinas de venta	2	1	1	1	1	1	1
Sala del jefe de estación	10	10	10	10	10	10	10
Banderola	1	1	1	1	1	1	1
Ventilación dependencias técnicas	1	1	1	1	1	1	1
Cuadros auxiliares CT MT/BT	3	3	3	3	3	3	3
Cuadros auxiliares cámara seccionadores	2	2	2	2	2	2	2
Sala de comunicaciones	15	15	15	15	15	15	15
Sala de enclavamientos	10	10	10	10	10	10	10
Cierre de andenes	25	25	25	25	25	25	25
Protección contra incendios	1	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>377</b>	<b>405</b>	<b>390</b>	<b>435</b>	<b>205</b>	<b>209</b>	<b>269</b>

Cargas	ESTACIONES						
	Paloquemao	Estación de la sabana	San Victorino	Av Lima Ac 85	La Rebeca Plaza de Lourdes	Usaquen	Ac 127
	POTENCIA INSTALADA POR ESTACIÓN (kW)						
Ascensores	21	42	28	28	42	42	28
Escaleras	0	120	120	120	180	45	45
Ventilación sobrepresión	11	11	11	11	11	11	11
Equipos de agua nebulizada	30	30	30	30	30	30	30
Pozos de drenaje de estación	16	16	16	16	16	16	16
Iluminación estación	28	44	38	24	38	28	32
Iluminación aparcamiento	0	0	13	0	13	0	0
Ventilación andenes	11	11	11	11	11	0	0
Tomas corriente	29	29	29	29	29	29	29
Máquinas de validación	1	1	3	1	1	1	3
Máquinas de venta	1	1	5	1	1	1	5
Sala del jefe de estación	10	10	10	10	10	10	10
Banderola	1	1	1	1	1	1	1
Ventilación dependencias técnicas	1	1	1	1	1	1	1
Cuadros auxiliares CT MT/BT	3	3	3	3	3	3	3
Cuadros auxiliares cámara seccionadores	2	2	2	2	2	2	2
Sala de comunicaciones	15	15	15	15	15	15	15
Sala de enclavamientos	10	10	10	10	10	10	10
Cierre de andenes	25	25	25	25	25	25	25
Protección contra incendios	1	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>215</b>	<b>373</b>	<b>371</b>	<b>338</b>	<b>440</b>	<b>270</b>	<b>267</b>

Tabla 1-8. Potencia de consumo por estación

Cargas	ESTACIONES						
	Portal Americas	Casablanca Villavicencio Palenque Bocaya 1° de Mayo	Hospital Kennedy	Av. 68 Parque Nacional Gran Colombia Marly Santo Tomás Av. De Chile Parque de la 93 Ac Calle 10	Río Fucha	Ac 6 Ac 13	NQS
	POTENCIA DE CONSUMO POR ESTACIÓN (kW)						
Ascensores	8	8	8	8	6	4	8
Escaleras	72	90	81	108	0	0	9
Ventilación sobrepresión	0	0	0	0	0	0	0
Equipos de agua nebulizada	0	0	0	0	0	0	0
Pozos de drenaje de estación	2	2	2	2	2	2	2
Iluminación estación	27	27	27	27	7	6	13
Iluminación aparcamiento	4	4	4	4	0	0	0
Ventilación andenes	11	11	11	11	0	11	11
Tomas corriente	1	1	1	1	1	1	1
Máquinas de validación	1	0	0	0	0	0	1
Máquinas de venta	1	0	0	0	0	0	1
Sala del jefe de estación	8	8	8	8	8	8	8
Banderola	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación dependencias técnicas	0	0	0	0	0	0	0
Cuadros auxiliares CT MT/BT	2	2	2	2	2	2	2
Cuadros auxiliares cámara seccionadores	0	0	0	0	0	0	0
Sala de comunicaciones	15	15	15	15	15	15	15
Sala de enclavamientos	1	1	1	1	1	1	1
Cierre de andenes	1	1	1	1	1	1	1
Detección de incendios	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>154</b>	<b>172</b>	<b>163</b>	<b>190</b>	<b>43</b>	<b>53</b>	<b>73</b>
<b>CONSUMO DIARIO (kW-h)</b>	2.962	3.293	3.121	3.639	830	1.013	1.410
<b>CONSUMO ANUAL (MW-h)</b>	1.081	1.202	1.139	1.328	303	370	515

Cargas	ESTACIONES						
	Paloquemao	Estación de la sabana	San Victorino	Av Lima Ac 85	La Rebeca Plaza de Lourdes	Usaquen	Ac 127
	<b>POTENCIA DE CONSUMO POR ESTACIÓN (kW)</b>						
Ascensores	4	8	6	6	8	8	6
Escaleras	0	72	72	72	108	27	27
Ventilación sobrepresión	0	0	0	0	0	0	0
Equipos de agua nebulizada	0	0	0	0	0	0	0
Pozos de drenaje de estación	2	2	2	2	2	2	2
Iluminación estación	8	13	30	19	30	8	10
Iluminación aparcamiento	0	0	4	0	4	0	0
Ventilación andenes	11	11	11	11	11	0	0
Tomas corriente	1	1	1	1	1	1	1
Máquinas de validación	0	0	1	1	1	0	2
Máquinas de venta	0	0	2	0	1	0	2
Sala del jefe de estación	8	8	8	8	8	8	8
Banderola	0	0	0	0	0	0	0
Ventilación dependencias técnicas	0	0	0	0	0	0	0
Cuadros auxiliares CT MT/BT	2	2	2	2	2	2	2
Cuadros auxiliares cámara seccionadores	0	0	0	0	0	0	0
Sala de comunicaciones	15	15	15	15	15	15	15
Sala de enclavamientos	1	1	1	1	1	1	1
Cierre de andenes	1	1	1	1	1	1	1
Detección de incendios	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>	<b>136</b>	<b>157</b>	<b>139</b>	<b>193</b>	<b>75</b>	<b>77</b>
<b>CONSUMO DIARIO (kW-h)</b>	1.050	2.608	3.017	2.662	3.712	1.438	1.474
<b>CONSUMO ANUAL (MW-h)</b>	383	952	1.101	971	1.355	525	538

Para el cálculo del consumo total diario se establece el criterio de que el funcionamiento de la estación será de 18 horas de máximo consumo y 6 horas de consumo reducido al 20%. Según esto, el consumo total diario y anual es:

Tabla 1-9. Consumo diario y anual en estaciones

<b>CONSUMO DIARIO ESTACIONES (MW-h)</b>	<b>78</b>
<b>CONSUMO ANUAL ESTACIONES (GW-h)</b>	<b>28,57</b>

Fuente: Elaboración propia

### 1.3 Sistema de energía en talleres

La estimación de potencia para talleres se ha realizado teniendo en cuenta un taller tipo de 10.000 m<sup>2</sup>. Las cargas resultantes son las siguientes:

Tabla 1-10. Potencia en talleres

<b>TALLER (superficie = 10.000 m2)</b>			
<b>Carga</b>	<b>Potencia Instalada (kW)</b>	<b>Factor simultaneidad</b>	<b>Potencia de consumo (kW)</b>
Torneado de ruedas	60	0,2	12
Carro motriz	40	0,2	8
Puentes grúa	20	0,1	2
Polipasto	10	0,1	1
Equipo de aspiración ambiental	10	0,5	5
Cabina de Pintura	200	0,2	40
Tren de lavado	70	0,2	14
Soplado	40	0,3	12
Sistema de elevación de trenes	30	0,2	6
Puertas acceso	10	0,1	1
Iluminación	135	0,8	108
Fuerza	120	0,05	6
Detección de incendios	2	0	0
Aire comprimido	50	0,5	25
Detección de incendios	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>798</b>		<b>241</b>

Suponiendo un funcionamiento de 16 horas en horario normal y 8 horas en horario reducido al 20%, el consumo total diario y anual es:

Tabla 1-11. Consumo diario y anual en talleres

<b>CONSUMO DIARIO (MW-h)</b>	<b>4,24</b>
<b>CONSUMO ANUAL (GW-h)</b>	<b>1,55</b>

Fuente: Elaboración propia

## 1.4 Sistema de energía en el Puesto de Control Central (PCC)

La estimación de potencias para el PCC es la siguiente:

Tabla 1-12. Potencias en el PCC

PCC			
Carga	Potencia Instalada (kW)	Factor simultaneidad	Potencia de consumo (kW)
Iluminación	3	0,8	2,4
Fuerza	18,4	0,05	0,92
Detección de incendios	1	0	0
Ventilación	1	0,5	0,5
Señalización	6	1	6
Servidores	26	1	26
Puesto operador	36	1	36
Puesto mantenimiento	9,6	0,8	7,68
Puesto simulación	4,8	1	4,8
Equipos ofimáticos	15	1	15
Equipos campo	2	1	2
Equipos de comunicaciones	30	1	30
<b>TOTAL</b>	<b>152,8</b>		<b>131,3</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para la estimación de la energía consumida se prevé que el PCC trabaje las 24 horas, por tanto:

Tabla 1-13. Consumo diario y anual en PCC

<b>CONSUMO DIARIO (MW-h)</b>	<b>3,15</b>
<b>CONSUMO ANUAL (GW-h)</b>	<b>1,15</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## 1.5 Sistema de energía en túneles

Los cálculos de potencia y energía en túneles contemplan las cargas de iluminación y las cargas de ventilación.

Para el cálculo de las cargas de iluminación se considera un recorrido en túnel de 18 km y la instalación de una luminaria de 32 vatios cada 15 metros.

Para el cálculo de las cargas de ventilación, se supone la existencia de 21 pozos de ventilación.

La tabla siguiente resume las estimaciones realizadas:

Tabla 1-14. Potencias en túnel

TÚNELES			
Carga	Potencia Instalada (kW)	Factor simultaneidad	Potencia de consumo (kW)
Iluminación	40	1	40
Ventilación	4.200	0,4	1680
<b>TOTAL</b>	<b>4.240</b>		<b>1720</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Teniendo en cuenta que la iluminación de túnel mientras la línea está en servicio está apagada y que la ventilación de túnel cuando no hay circulación de trenes se reduce hasta el 20%, el consumo total diario y anual estimado es:

Tabla 1-15. Consumo diario y anual en túnel

<b>TOTAL CONSUMO TÚNELES DIARIO (MW-h)</b>	<b>35,10</b>
<b>TOTAL CONSUMO TÚNELES ANUAL (GW-h)</b>	<b>12,81</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## 1.6 Estimación total de potencias y consumos en la línea

La potencia global demandada en la línea se resume en la siguiente tabla:

Tabla 1-16. Resumen de potencias

RESUMEN POTENCIAS TOTAL LÍNEA	
Sistema	(KW)
Tracción	37.733
Estaciones	4.076
Talleres	241
PCC	131
Túneles	1.720
<b>CONSUMO TOTAL LÍNEA</b>	<b>43.901</b>

*Fuente: Elaboración propia*



El consumo total estimado de la línea es:

Tabla 1-17. Resumen de consumos

RESUMEN CONSUMOS TOTAL LÍNEA		
Sistema	Diario (MW-h)	Anual (GW-h)
Tracción	130,61	47,67
Estaciones	78,26	28,57
Talleres	4,24	1,55
PCC	3,15	1,15
Túneles	35,10	12,81
<b>CONSUMO TOTAL LÍNEA</b>	<b>251,36</b>	<b>91,75</b>

Fuente: *Elaboración propia*

## 2 CATENARIA

### 2.1 Introducción

El presente documento pretende especificar la tipología de la catenaria a instalar para cada tipo de sección en la Primera Línea del Metro de Bogotá

La tipología de catenaria prevista para la PLMB es la que sigue:

Tabla 2-1. Tipologías de catenaria según secciones de línea

Sección	Tipología
Túnel Excavado con Tuneladora	Catenaria Rígida
Falso Túnel	Catenaria Rígida
Semienterrada	Catenaria Rígida
Viaducto	Catenaria Convencional
Superficie	Catenaria Convencional
Estación entrepantallas	Catenaria Rígida
Estación semienterrada	Catenaria Rígida
Estación superficie	Catenaria Convencional
Estación viaducto	Catenaria Convencional
Talleres y cocheras	Catenaria Rígida

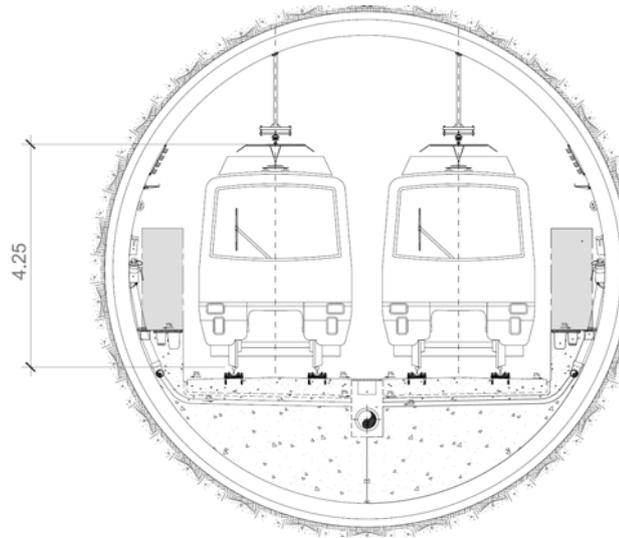
*Fuente: Elaboración propia*

En todos los casos, la altura de catenaria planteada es de 4,25 metros entre el Plano Medio de Rodadura (P.M.R.) y el hilo de contacto.

A continuación, se presentan las principales características con los detalles de cada una de las secciones planteadas.

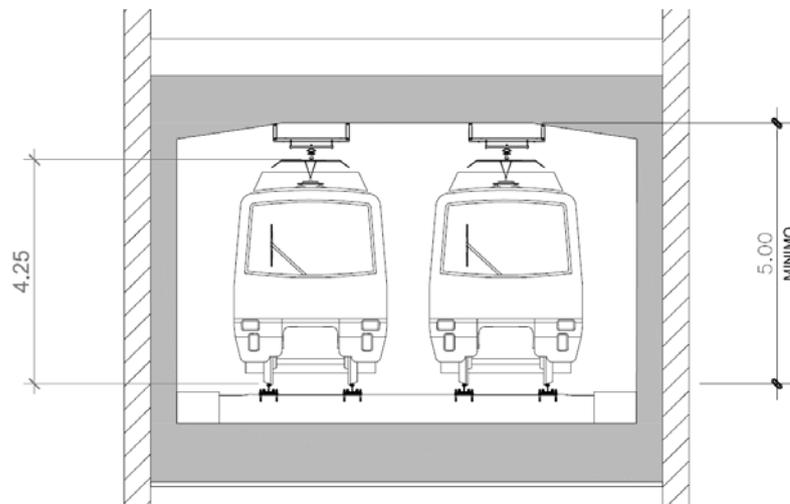
## 2.2 Sección en túnel excavado con Tuneladora

Esta sección es la más frecuente en la PLMB. La tipología de catenaria será con catenaria rígida. La suportación se hará independiente por cada una de las vías mediante barras ancladas al hastial del túnel de la longitud suficiente.



## 2.3 Sección en falso túnel

Igualmente que la sección de túnel excavado con tuneladora, la suportación se hará directamente a la losa superior con suportaciones independientes para cada vía y la topología de catenaria será catenaria rígida.



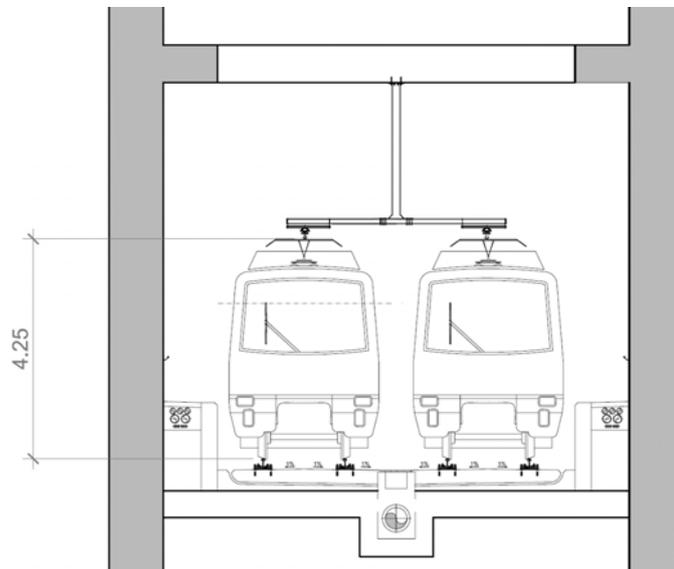
## 2.4 Sección Semienterrada

En esta sección la topología de catenaria será catenaria rígida.

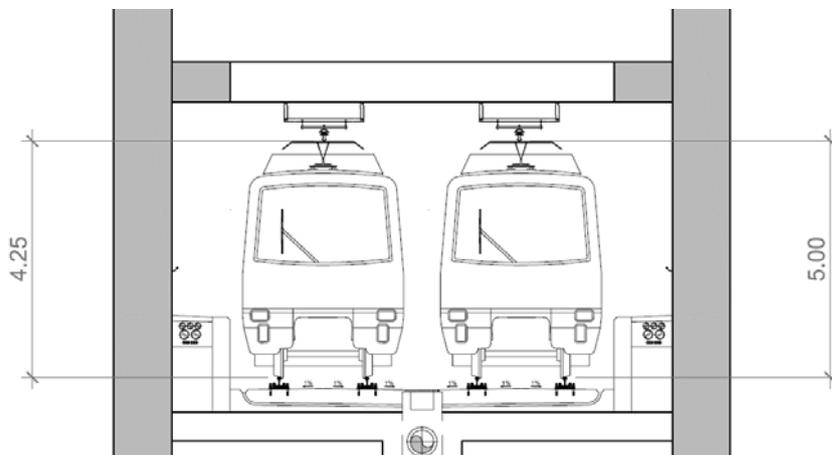
En los extremos de la sección semienterrada que hagan frontera con la sección superficial la transición entre catenaria rígida y catenaria convencional se realizará anclando los conductores de esta última al último de los puntales de la sección semienterrada.

Al haber los puntales que unen las dos pantallas cada cierta distancia, la sustentación de la catenaria rígida se hará de una de estas dos formas:

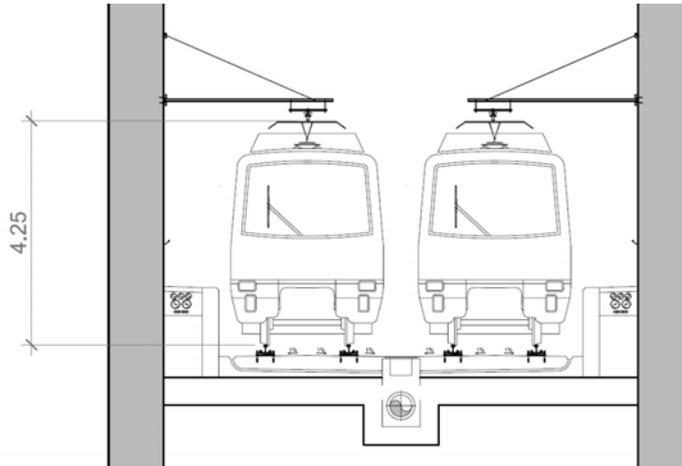
**Directamente soportada a los puntales con barra central:** Esta solución se aplicará en aquellos casos que la altura de los puntales sea considerable, por encima del paso del tren.



**Con sustentación directa a los puntales:** Para los casos en los que los puntales estén situados a una distancia del P.M.R. de aproximadamente 5 metros



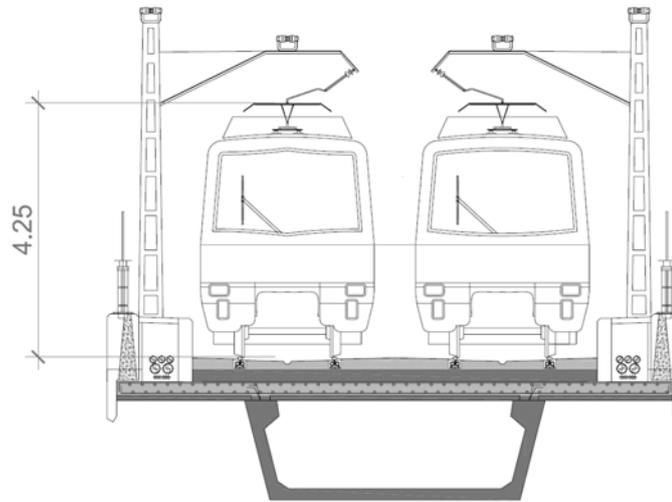
**Con suportación a las pantallas:** En aquellos puntos en los que no haya puntales y sea precisa la colocación de suportación se instalará directamente a las pantallas de la sección semienterrada.



## 2.5 Sección en viaducto

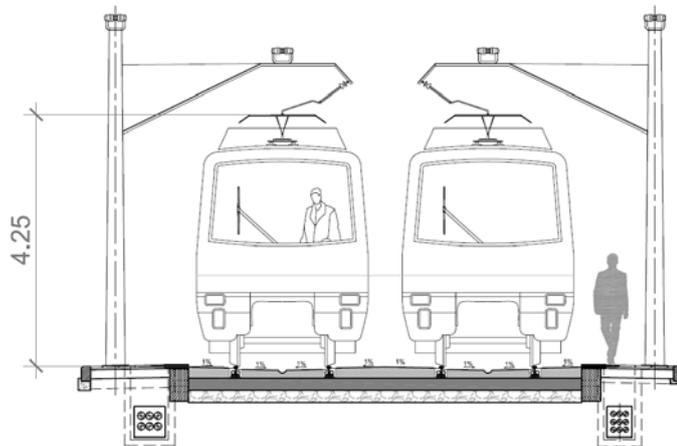
En esta sección la topología de catenaria será catenaria convencional. La ubicación de los postes de catenaria será coincidiendo con las pilas o pilares de suportación del viaducto, que es la zona de mayor estabilidad de la estructura. Para garantizar un buen anclaje de los postes a la estructura, es importante que en la construcción del viaducto se prevea la posición de los postes y se realicen las correspondientes esperas solidarias a la armadura de la estructura, para la posterior colocación de los postes. Para no condicionar el posterior replanteo de catenaria se recomienda la realización de esperas en todas las pilas y con garantías para soportar los esfuerzos del poste más desfavorable.

La distancia entre pilas condicionará la distancia entre postes de catenaria. Así, en el caso de que por ejemplo la distancia entre pilas fuera de 25 metros y el vano máximo previsto entre postes fuera de 60 metros, la distancia entre postes sería de 50 metros, ubicándose un poste cada dos pilas.



## 2.6 Sección en superficie

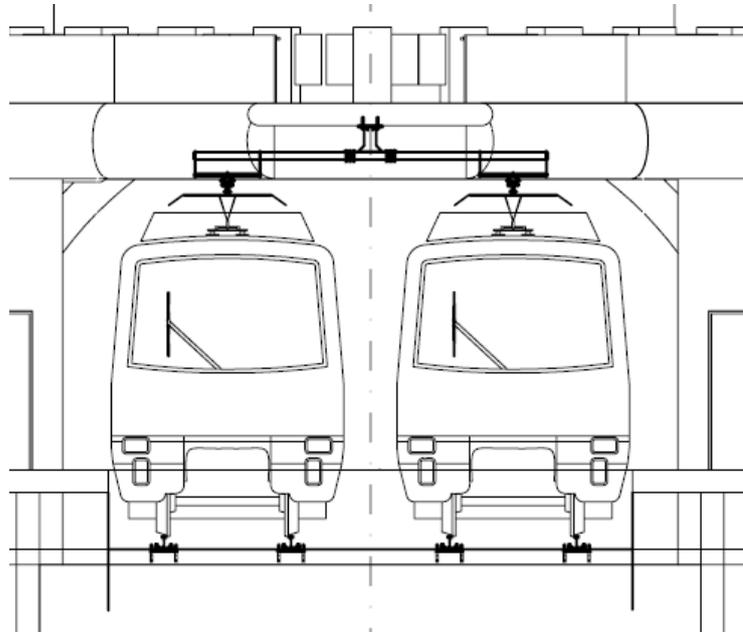
En esta sección la topología de catenaria será catenaria convencional (con sustentador, hilo de contacto y feeders de acompañamiento). Se deberán ejecutar cimentaciones a medida para cada poste, de las características necesarias para soportar los esfuerzos solicitados por cada tipo de poste.



## 2.7 Estación subterránea

Estas estaciones tienen catenaria rígida. La catenaria rígida se soportará a la estructura central situada encima del eje de entrevía mediante un soporte central, el cual mediante una barra alargada soportará las catenarias de cada vía.

En la estación se evitará la ubicación de seccionamientos mecánicos o eléctricos de catenaria.



## 2.8 Estación semienterrada

Esta estación será con catenaria rígida. Al no haber estructuras por encima, para la suportación a ellas de la catenaria, ésta deberá soportarse mediante postes integrados en los módulos de las puertas de andén. Como aproximadamente cada módulo de puerta de andén tiene unas dimensiones aproximadas de 4,5 metros y la distancia entre soportes de catenaria rígida está aproximadamente en los 10 metros, se ubicará un poste cada dos módulos de puertas de andén. El canto de andén debe prever la ubicación de estos postes de catenaria y estar reforzado en consecuencia para la suportación de los esfuerzos aplicados.

Se evitará la ubicación de seccionamientos mecánicos o eléctricos en la estación.

## 2.9 Estación superficial (en superficie o viaducto)

En ambos casos, la tipología de catenaria es convencional. En la zona de andenes, será precisa la colocación de dos o tres postes de catenaria. Estos postes de catenaria estarán integrados en los módulos de las puertas de andén. El canto de andén debe prever la ubicación de estos postes de catenaria y estar reforzado en consecuencia para la suportación de los esfuerzos aplicados.

Se evitará la ubicación de seccionamientos mecánicos o eléctricos en la zona de estación, por lo que los postes a instalar en la estación serán para catenaria de trayecto.

## 2.10 Alternativa de catenaria convencional en sección semienterrada

En la sección semienterrada, se puede efectuar un estudio técnico-económico para ver la conveniencia de la instalación de la catenaria convencional frente a la catenaria rígida. Sobre todo, se vería muy facilitada la instalación en estaciones, ya que se pasaría de tener que colocar un mínimo de 15 postes por andén integrados con las puertas de andén, a únicamente haber de ubicar 2 ó 3 postes por andén.

En la zona entre pantallas, se reduciría mucho el material de suportación. La precaución que habría que tomar es que la altura de los puntales respecto al P.M.R. no condicione la altura libre necesaria para la instalación de la catenaria convencional.

## 2.11 Talleres y patios

En los talleres y cocheras la tipología de catenaria a instalar es catenaria convencional. En la zona exterior de cocheras y acceso talleres es necesario prever la ubicación de los elementos de sustentación, por lo que los estudios de implantación de las vías debería hacerse conjuntamente con las necesidades de suportación para la catenaria para que existan las entrevías con las distancias adecuadas para la ubicación de postes en aquellos casos en los que sea necesaria la colocación de los mismos.

Ya en el interior del taller, es posible simplificar la instalación y estudiar el uso de una catenaria del tipo tranviaria únicamente con Hilo de Contacto y no precisando el uso de sustentadores y péndolas.

Es posible que en alguna vía deba instalarse una catenaria del tipo escamoteable. En ese caso, esa vía en particular puede instalarse con catenaria rígida escamoteable.



PRODUCTO N° 28

MATERIAL RODANTE

Parámetros de diseño funcional de la infraestructura

MB-GC-ME-0028  
Rev. 2 Pág. 90 de 173

---

## MATERIAL RODANTE

## 1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MATERIAL RODANTE.

### 1.1 Prestaciones

Las prestaciones aquí incluidas están basadas en datos provisionales, por lo que los valores definitivos deberán ser confirmados cuando se desarrolle el proyecto de fabricación de los trenes y cuando las características de la línea estén completamente definidas

#### 1.1.1 Aceleraciones y deceleraciones

- Aceleraciones a efectos de dimensionamiento:

En recta y horizontal, con la tensión mínima de alimentación y los sistemas de tracción de la composición funcionando correctamente, la aceleración del tren será, con independencia de la carga, de  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Esta aceleración se mantendrá, como mínimo, con carga máxima hasta 40 Km/h. El paso de coche parado hasta la velocidad máxima se realizará de tal forma que la variación de aceleración (jerk máximo) no supere un valor de  $0,8 \text{ m/s}^3$ , incluyendo el tirón en el arranque, cambios de aceleración y paso a deriva.

- Deceleraciones a efectos de dimensionamiento:

En recta y en horizontal, en cualquier estado de carga de viajeros y con todos los coches del tren en funcionamiento correcto, se conseguirá el mantenimiento del esfuerzo de freno con una deceleración de  $1,2 \text{ m/s}^2$  con una tolerancia de  $\pm 0,05 \text{ m/s}^2$

No obstante, con aplicación del freno de fricción, la deceleración será de  $1,1 \text{ m/s}^2$ .

La deceleración de urgencia será de  $1,3 \text{ m/s}^2$ .

- Aceleraciones y deceleraciones en servicio:

La aceleración de arranque será regulable en el taller entre los valores de  $0,8$  y  $1,2 \text{ m/s}^2$  en régimen instantáneo hasta el final del desarrollo con un margen de  $\pm 0,05 \text{ m/s}^2$  en cada punto de regulación.

La deceleración máxima de  $1,2 \text{ m/s}^2$  con tolerancia de  $\pm 0,05 \text{ m/s}^2$  podrá ser aplicable hasta ese valor por el conductor, en el caso de conducción en degradado, en función de la posición del manipulador de mando.

El jerk máximo en el proceso de frenado, al principio del mismo, en variaciones de deceleración y tirón de parada será de  $0,8 \text{ m/s}^3$

El límite del jerk de  $0,8 \text{ m/s}^3$  es válido únicamente para freno de servicio, no para freno de emergencia.

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

En curva, la velocidad límite se determinará de forma que en los peraltes máximos indicados los trenes estén sometidos como máximo a una fuerza centrífuga residual de aceleración máxima de  $1 \text{ m/s}^2$ . Sin embargo, el material deberá poder circular en estas circunstancias a una velocidad superior en un 25 % a la velocidad límite, sin que se vean afectados los distintos elementos del coche.

### 1.1.2 Velocidades

La velocidad máxima de los trenes será de 80 Km/h en recta horizontal con carga máxima, pero todos los elementos de los mismos estarán previstos para poder soportar, sin deterioro o envejecimiento prematuro, la velocidad de 90 Km/h con carga máxima.

La velocidad comercial será lo más alta posible, garantizándose un valor no inferior a 30 Km/h en la Primera Línea de Metro de Bogotá. Se consideran 15 segundos de parada, con 1,5 minutos de tiempo de maniobra en el inicio de la vuelta.

Para obtener los valores normales anteriores se considerará un coeficiente de adherencia de 0,13 y no se condicionarán a la utilización de areneros. El constructor debe de ajustar la acción de los equipos para conseguir las prestaciones solicitadas de los valores reales de adherencia.

### 1.1.3 Exigencias del servicio en averías

Los equipos se dimensionarán de forma que cuando en la composición del tren (cinco coches motores y dos remolques), dos coches motores tengan el sistema de tracción averiado, el tren podrá alcanzar la siguiente estación para evacuar pasaje, arrancando en la máxima pendiente y curva con la carga máxima, y ya en vacío proseguir hasta la cochera, con independencia del trayecto

Las operaciones a realizar, en este hipotético modo degradado de conducción, para retirarlo en las condiciones indicadas serán sencillas y claras para evitar tiempos de inmovilización en la línea.

### 1.1.4 Modos de explotación

Los trenes de la Primera Línea de Metro de Bogotá se explotarán comercialmente en conducción automática, con sistema tipo CBTC UTO.

Por lo tanto, la Primera Línea de Metro de Bogotá vendrá equipada con:

- Puertas de andén
- Sistema CBTC en UTO (conducción automática)
- Plataformas de comunicación de video, voz y datos

En circulación en modo degradado y también para el acceso final a talleres, la conducción podrá ser manual con agente de conducción, mediante el pupitre escamoteable.

## 1.2 Caja

Se pretende conseguir la máxima ligereza para disminuir los costos energéticos de explotación. Para ello se deberá conseguir el máximo ahorro de peso, tanto en los materiales sustentantes como en el resto de los que componen la caja y los distintos elementos de los equipos, sin menoscabo de la resistencia y confort del vehículo

Para la caja se aconsejan dos variantes:

- Cajas autoportantes en aleación de aluminio, mediante la técnica de grandes perfiles extrusionados, no aceptándose el ensamblado de partes mediante remaches, con la excepción de aquellos puntos que técnicamente se justifiquen.

- Chapa de acero tipo St. 37-2 con aleación de cobre de un 0,25% a un 0,35%, resistentes a la corrosión con estructura optimizada ó S275 J2G3C-4, ó S355 J2G3C-4.

La estructura de la caja debe estar concebida de modo que proporcione la mayor protección posible al personal de conducción y viajeros, en caso de accidente, especialmente colisión frontal violenta (montantes anticolidión y dispositivos “ANTICLIMBER” solidarios al bastidor).

### 1.2.1 Caja de aluminio

Para un servicio metropolitano, en el que los trenes tienen que acelerar y frenar frecuentemente, es interesante poder contar con masas reducidas, no solo para mantener la carga por eje lo más baja posible, sino también para reducir el consumo de energía, manteniendo las condiciones de seguridad estructural para el pasajero, ante colisiones frontales y laterales.

Para ello, deberá indicarse de forma real y contrastada los ahorros de peso y energéticos alcanzados.

Se utilizarán perfiles extruidos de gran tamaño, puestos longitudinalmente a lo largo del vehículo. Estos perfiles serán de doble pared y espesores a definir, en función de las necesidades estructurales.

En caso de colisión frontal o lateral, estos perfiles podrán soportar esfuerzos equivalentes al límite elástico del material, sin perjudicar la estabilidad elástica de las piezas, pudiéndose diseñar la estructura con zonas calculadas para que, mediante deformación, absorban la energía de choque.

Los subconjuntos de mayor interés son:

- Bastidor

El bastidor se compondrá de perfiles longitudinales que vayan de un extremo a otro (largueros y perfiles centrales huecos con entramado). Estas soluciones permitirán efectuar soldaduras automáticas continuas, de óptima calidad y muy buena resistencia a la compresión.

Las estructuras de enganche irán soldadas por debajo de este elemento y reforzadas por delante con un atraviesa de cabecero muy rígida.

Los perfiles extruidos del bastidor llevarán integrados los raíles/guías para fijar los aparatos por debajo del bastidor y apoyar el piso por encima del mismo. Esta solución, estimamos que aporta ventajas en cuanto a flexibilidad y facilidad de integración de los otros componentes.

Aplicado a los diversos subconjuntos de la caja, el Constructor indicará la estandarización, o no, de los perfiles a utilizar, sus posibles procedencias y la disposición, o no, de matricería propia para ello.

- Laterales

Estos subconjuntos podrán consistir en perfiles huecos con forma rectangular en entramado, con espesores de pared de 3 mm aproximadamente.

Las aperturas para las puertas estarán limitadas por montantes verticales de sección adecuada y forma apta para facilitar el montaje de la puerta.

Los ángulos de la puerta estarán reforzados en cantoneras forjadas o mecanizadas.

El espesor de los laterales permitirá añadir suficiente material de aislamiento termo-acústico y fijar en ellos los asientos.

Se dotará de perfil vierteaguas en toda la longitud.

- Techo

La estructura estará formada por 2 largueros de techo muy robustos y perfiles centrales longitudinales, así como algunas cerchas para añadir rigidez local al conjunto.

Los perfiles de los largueros de techo llevarán integrados guías para el montaje de los mecanismos de puerta.

Se evitará que pueda acumularse agua, adecuando su geometría y acabado al efecto.

Deberán preverse aperturas adecuadas para los aparatos de climatización.

- Aleaciones de aluminio

Se ajustarán a lo establecido en las normas UNE-EN 755-2 para perfiles extruidos y la UNE-EN 485-2 para chapas, y otras normas para la aplicación de las aleaciones de aluminio en estructuras que puedan estar en vigor en el momento del concurso.

- Resistencia a la corrosión

La resistencia a la corrosión de todas las aleaciones a utilizar, será muy elevada. Para ello se darán referencias de empleo. Si bien la solución con aleación ligera no requerirá en sí misma pintura exterior, el acabado de aquella será tal que admitirá pintura a definir en la fase de proyecto.

La caja deberá tener en cuenta el evitar encharcamientos de agua, efectuándose en su caso los drenajes correspondientes.

### **1.2.2 Frontal**

Podrá ser del mismo material que la caja o bien estar conformado con material sintético, en función de la forma final adoptada y si las ventajas constructivas o de reducción de tara, así como la estética, lo aconsejan.

En caso de elegirse esta solución no deberá disminuir la resistencia al choque bajo ningún concepto. Se dispondrán elementos que eviten el empotramiento y remonte de cajas en colisiones accidentales frontales. Estos elementos estarán constituidos, bien por falsos topes a nivel del bastidor, o por montantes acodados anclados al suelo y techo

### **1.2.3 Armarios**

En los espacios más adecuados se ubicarán los armarios de B.T., aparatos y equipos modulares para el funcionamiento y el control del tren.

### **1.2.4 Paso entre coches**

La circulación entre coches se hará a través de un pasillo de intercurrencia.

La zona del pasillo deberá estar perfectamente iluminada y dispondrá de asideros en concordancia con el resto del tren.

Será robusto, ligero y capaz de resistir todas las sollicitaciones que puedan producirse, con el tren circulando en vía general y cocheras, en las peores condiciones, reuniendo las máximas garantías de seguridad para el pasaje, en cualquier momento de la marcha. El montaje y desmontaje de los pasillos será fácil, rápido y seguro.

Formará una unión perfectamente estanca, impidiendo la entrada de polvo o agua incluso en el lavado mecánico, así como una correcta insonorización.

La anchura libre de paso será como mínimo de 1.500 mm y 2.000 mm de altura.

Los elementos del pasillo no deben ser accesibles a los viajeros, especialmente los móviles, para evitar accidentes o actos de vandalismo. En general debe ser de fácil limpieza y con la superficie protegida antigraffiti.

### **1.2.5 Distribución interior de asientos**

La distribución de los asientos será preferentemente longitudinal, con sujeción a la pared tipo "Cantilever".

Se tendrán en cuenta la optimización de los siguientes parámetros:

- a) Equidistancia entre puertas del tren.
- b) Estética y confort general del interior del coche.
- c) Facilidad de circulación por el interior del vehículo y fluidez entre vehículo y andén.
- d) Capacidad de transporte (horas punta y horas valle).
- e) Seguridad.

### **1.2.6 Asientos**

El material constitutivo del asiento será rígido, a base de resinas fenólicas reforzadas con fibra de vidrio y perfiles metálicos no visibles, con los asientos marcados y con un grabado que dificulte el vandalismo mediante el rayado.

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

- a) Globalmente el asiento deberá presentar unas características frente al fuego, similares a la calidad M1 y F1.
- b) Coloración másica, no superficial, que no requiera posteriores pintados.
- c) Conformación de características anatómicas y ergonómicas para que no fatiguen las vibraciones.
- d) Ausencia total de ángulos vivos.
- e) Aspecto del conjunto agradable, con utilización de dispositivos de fijación practicables con la llave de cuadrado, fácilmente desmontable y que permitan el acceso a los elementos que tengan debajo.

f) El color del asiento estará conjuntado con el resto de la decoración interior. Se valorará que todos los asientos sean iguales para que su intercambiabilidad sea total.

En caso necesario se dispondrá de algunos asientos apoyados mediante una estructura tipo cajón, en el interior de los cuales se situarán los grifos de anulación de freno, seccionadores de coches, etc., accesibles mediante cerradura con llave de cuadrado. También se incorporará un compartimiento para extintores, con cierre de palomilla.

Este compartimiento estará dotado de un sistema de detección y aviso de apertura de la puerta.

### 1.2.7 Asideros

Dadas las características de aceleración y frenado de los coches, éstos deberán ir provistos de agarraderos para los viajeros. El Constructor proyectará la situación de los agarraderos, para que con el coche a plena carga se puedan sujetar el máximo de viajeros, y de forma que no se obstruya el acceso o salida por las puertas, ni el tránsito a lo largo de los coches. Por todo ello se dispondrá de los siguientes elementos de sujeción: pasamanos (barras en posición horizontal, suspendidas del techo), si son necesarios; columnas verticales con tres barras en el interior sujetas al suelo y al techo.

Los asideros estarán diseñados de tal forma que estén integrados en la estructura del asiento sin que aparezcan como aditamentos o postizos. Estarán formados por elementos tubulares o macizos con formas suaves y sin extremos libres.

El material constitutivo de los pasamanos, columnas y accesorios será el acero inoxidable. En todo caso serán agradables al tacto y de textura mate, facilitándose así la limpieza de los mismos. Todos estarán unificados en cuanto a sección. En cualquier caso serán de gran resistencia a los actos vandálicos.

La ubicación de las columnas será tal que no puedan dificultar la limpieza del suelo, por su proximidad a asientos o paramentos.

Se recomienda que los pasamanos estén a una altura aproximada de 1,80 m sobre el piso terminado.

### 1.2.8 Pavimento

Deberá cumplir las condiciones siguientes:

- a) Conservarse en perfectas condiciones, es decir, sin despegues, abolsamientos, desgastes y pérdidas de color durante quince años.
- b) Resistencia al calor.
- c) Buen aislamiento térmico.
- d) Resistencia ante cambios bruscos de temperatura.
- e) Buen aislamiento acústico.
- f) Resistencia a las vibraciones
- g) Impedir la entrada de agua bajo el mismo.

- h) Fácil de colocar a la hora de la reposición parcial o total, debiendo existir en el primer caso un contraste mínimo de coloración con el resto de la superficie.
- i) Fácil de adquirir como repuesto.
- j) Fácil de limpiar por vía húmeda, sin que resulte deteriorado tanto el pavimento como las estructuras que lo soportan.
- k) Resistente a disolventes.
- l) Ser incombustible con calificación M1, F1.
- m) Ser imputrescible.
- n) Resistente al punzonado

### 1.2.9 Iluminación

El conjunto del alumbrado será tal, que en cualquier punto de un plano horizontal situado a 1 m del suelo no resulte una iluminación inferior a 200 lux a las 100 horas de servicio efectivo de los tubos, evitándose puntos con brillo.

El alumbrado de emergencia estará constituido por 4 puntos, situados alternativamente junto a las puertas laterales de ambos lados.

Los difusores de alumbrado estarán en consonancia con la decoración interior y serán de fácil limpieza.

Se dispondrá de las medidas necesarias para que el público no pueda manipular las lámparas.

### 1.2.10 Aparatos de alarma

En cada coche se colocará un aparato de alarma en cada plataforma de acceso. Al ser cuatro estas plataformas, los cuatro aparatos de alarma se montarán alternativamente en los dos laterales al lado de las puertas de acceso. Cuando el viajero tire de él, quedará enclavado mecánicamente; su reposición se efectuará mediante llave de cuadrado hembra.

Se incorporará un equipo que digitalice y registre las conversaciones que se establecen entre pasajero y motorista cuando se acciona un tirador de alarma. También se accionará un registro continuo de audio y vídeo. Como esta información será considerada de seguridad, deberá permanecer registrada incluso con ausencia de batería de tren y sólo podrá ser borrada por personal técnico, mediante claves de acceso o llave especial. La recuperación de los registros será también accesible sólo en dichas condiciones.

Siempre que el equipo de vídeo este operativo, se podrá reponer el tirador desde cabina.

### 1.2.11 Insonorización

El diseño del vehículo deberá realizarse teniendo en cuenta la eliminación al máximo de las fuentes productoras de ruido (básicamente en el bogie y compresor), evitando en lo posible que este ruido se propague al interior de la caja y cabina de conducción, cuidando especialmente la supresión de los puentes sonoros.

El aislamiento fónico debe ir dispuesto en el techo, paramentos verticales y bajo el pavimento, a fin de garantizar que en ningún punto del compartimento de pasajeros o de la cabina de

conducción el nivel de ruido supere los 65 dB (A) (según recomendaciones de la U.I.C.), en las peores condiciones de explotación.

### 1.3 Enganches

En cada tren existirán dos tipos de acoplamientos:

- a) Acoplamiento automático, que servirá para acoplar trenes.
- b) Acoplamiento semipermanente, entre los coches que forman el tren.

Ambos tipos de enganches, automático y semipermanente, deben realizar el acoplamiento mecánico, neumático, y eléctrico

#### 1.3.1 Enganche automático

Estos enganches se situarán en los testeros, su misión será acoplar trenes mecánica, neumática y eléctricamente, de forma automática, y en las siguientes condiciones:

- El acoplamiento se efectuará con un tren parado y el otro a velocidad inferior a 5 km/h.
- Para desacoplar se accionará un dispositivo disponible en la cabina para tal efecto y podrá retirarse libremente el tren. Por consiguiente, un único operario podrá efectuar ambas maniobras.
- Las maniobras de acople o desacople podrán realizarse en curvas de 50 m de radio y rectas con cambio de rasante y acuerdos verticales de 1000 m de radio.
- Los acoplamientos podrán realizarse aún cuando los enganches tengan una diferencia de cota de 100 mm, situados en el mismo plano perpendicular a la vía.

Los acoplamientos responderán a las siguientes características:

- 1.- El acoplamiento dispondrá de un sistema de guiado y sustentación que lo mantendrá en posición constante en las testeras libres (autocentrado vertical).
- 2.- Llevará guías para su autocentrado horizontal.
- 3.- En el sentido longitudinal existirán elementos elásticos, indeformables en servicio normal, tipo elastómero, homologados por la U.I.C., capaces de absorber la energía transmitida en un choque de 80 KJoules. Además dispondrán de los elementos elásticos adecuados capaces de absorber los esfuerzos del servicio con viajeros.
- 4.- Se dispondrá de los dispositivos necesarios para impedir que se produzcan desacoplamientos intempestivos en los trenes durante la marcha, con independencia del estado de la vía u otros factores y en caso de producirse, quedarán frenadas ambas partes .
- 5.- El enganche estará dimensionado para soportar esfuerzos longitudinales de hasta 100 Tm.
- 6.- El acoplamiento eléctrico se hará por medio de botoneras situadas en los lados que aseguren un contacto permanente y pleno durante la marcha del tren. Para mantener el buen acoplamiento de los contactos eléctricos, se dispondrá del correspondiente guiado de la caja botonera.

- 7.- Existirá una válvula de aislamiento accionable desde la cabina, para la tubería única que atraviesa el enganche.
- 8.- El acoplamiento neumático tendrá lugar a través de boquillas, fácilmente cambiables.
- 9.- Se estudiará algún tipo de cabezal intermedio portátil que permita acoplar los nuevos trenes con los actuales de la serie 1.000 que son del tipo BSI. La distancia del centro de la cabeza del enganche a la cabeza del carril en el plano vertical a éste, será la misma que la de los coches serie 1.000, es decir 850 mm.
- 10.- Para casos de emergencia y cuando por algún motivo muy especial no sea posible acoplar dos coches de la misma serie o distinta, se preverán unas barras de acoplamiento que quedarán sujetas a ambos vehículos por medio de un bulón. El lugar donde se aloje la barra deberá resistir un esfuerzo capaz de remolcar otro tren en tara.

### 1.3.2 Enganche semipermanente

El acoplamiento o desacoplamiento de los coches de un tren, se efectuará normalmente en taller, aunque se preverá la eventualidad de realizarlo en línea, en caso de emergencia.

Los enganches serán semipermanentes y deberán cumplir las siguientes condiciones:

- 1.- El acoplamiento se realizará con los coches parados y admitirá una diferencia de cotas entre enganches de 60 mm.
- 2.- Tendrán las mismas características que los acoplamientos automáticos, en lo referente a los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del apartado anterior.
- 3.- El acoplamiento mecánico se concebirá como unión embridada de dos semiacoplamientos, que comprende el guiado mecánico y las boquillas neumáticas.
- 4.- El acoplamiento eléctrico de baja tensión se hará por medio de botoneras. Para asegurar el buen acoplamiento de los contactos eléctricos la botonera tendrá barras de guiado, lo cual permitirá poner contactos machihembrados de máxima calidad.  
  
El número de contactos será el mínimo posible, previéndose una reserva del 10% y deberá cumplir las mismas condiciones de estanqueidad que el enganche automático.
- 5.- Todos los cables, incluidos los de potencia, pasarán directamente por la botonera a través de contactos de testa, evitándose los contactos aéreos adicionales.
- 6.- Existirá en un lugar fácilmente accesible, una llave de cierre manual para aislar neumáticamente los coches, así como un interruptor múltiple para la botonera.

### 1.4 Bogies

Como principios generales de diseño, deberán considerarse fundamentalmente los correspondientes a simplicidad del bastidor, accesibilidad y mantenimiento reducido, compatible con unas excelentes características respecto a alta adherencia, estabilidad de marcha, reparto de carga en las ruedas, perfecta rodadura e inscripción en los trazados de las líneas de Metro y la máxima seguridad debida al servicio a prestar.

La sustentación de la caja se hará mediante dos bogies independientes de las cajas contiguas. Estos bogies alojarán los elementos correspondientes de los equipos de tracción y frenado, salvo para el caso del coche remolque que sólo incorporará los de frenado, por lo que en la concepción del bastidor deben ubicarse los correspondientes soportes y apoyos.

Los soportes y apoyos deben ser estudiados, en número y dimensiones, para que permitan el montaje de los equipos de ATP/ATO.

El bogie incorporará también los elementos para la suspensión del vehículo. Todos los elementos constitutivos del bogie serán intercambiables, por lo que los bogies resultantes serán también intercambiables.

Los bogies de los coches remolques estarán concebidos y calculados para ser convertidos fácilmente en bogies motores, debiendo tener todos los soportes y alojamientos necesarios para tal fin.

El sistema de propulsión del bogie se efectuará mediante dos motores, actuando cada uno de ellos sobre un eje, mediante los reductores y acoplamientos elásticos necesarios.

La sujeción de los motores será exclusivamente del bastidor y lo más cerca posible del centro del bogie.

Se darán las máximas referencias de bogies iguales o de concepción análoga, que circulen en otras administraciones, en especial metropolitanos.

Se pondrá un cuidado muy especial en el cableado caja-bogie para conseguir una gran maniobrabilidad en las operaciones de levante de bogies, embornes, acoples, averías etc., para ello se utilizarán conectores de alta fiabilidad y calidad, tanto eléctricos como neumáticos, del tipo múltiple.

## **1.5 Bastidor**

Estará constituido por una estructura de cajón formada por dos largueros unidos en el centro por dos traveseros, no aceptándose cabeceros, salvo si son necesarios para el soporte de equipos o paso de canalizaciones, pero no deberán formar en ningún caso parte de la estructura resistente del bastidor, a no ser que se justifique técnicamente.

El centro de gravedad del bastidor será lo más bajo posible. Los traveseros soportarán los motores de tracción, las bielas de reacción del reductor y los cilindros de freno.

La base rígida del bastidor estará diseñada al objeto de producir un reparto racional de los esfuerzos, evitando en general las concentraciones de los mismos y, en particular, en los puntos de unión y acuerdo de piezas, traveseros y largueros.

Los cordones de soldadura deberán ser rectos o de curvatura muy progresiva; asimismo se tenderá a eliminar soldadura en posición, haciéndose todas ellas en el suelo sobre base horizontal. Se evitará la unión de tres cordones y cuando ello no sea posible se interrumpirán practicando un agujero rectificadado en el vértice del triedro por ellos formado.

Se dispondrá en los extremos de los largueros, de elementos de amarre para realizar el transporte del bogie, en posición horizontal, en los talleres por medio de cabrestante.

## **1.6 Ejes**

### **1.6.1 Cuerpo del eje**

Los extremos del eje deberán ser planos y bien alisados (salvo los puntos para el torneado) para poder examinar fácilmente por ultrasonidos, en las operaciones normales de mantenimiento, la existencia de fisuras. Deberá acompañarse el espectrograma normal.

Los ejes han de ser forjados, templados, y revenidos y de construcción sólida.

### 1.6.2 Ruedas

Serán enterizas y estarán construidas en acero no aleado y de bajo contenido en carbono. El material y dureza serán los adecuados a las condiciones de la vía, trazado y circulación, así como el perfil. El diámetro del círculo de rodadura de una rueda nueva será de 840 mm, estableciéndose la capacidad máxima de desgaste en consonancia con el gálibo inferior del bogie, pudiendo ser del orden 100 mm, medidos según el diámetro.

Las ruedas serán de dureza R7.

En el cubo de la rueda se deberán prever los canales y taladros de descalado para el acoplamiento de los dispositivos de extracción de rueda bajo presión de aceite (tipo SKF o similar). En el cubo se incorporará un resalte circular de forma que mediante el útil adecuado se pueda realizar el descalado de la rueda, realizando la tracción sobre el mismo.

Las ruedas estarán previstas para ser reperfiladas en el torno de foso y en el de bancada.

Las ruedas dispondrán de dispositivos adecuados para lograr una correcta insonorización. Se deberá justificar el tipo de absorbedor axial empleado, que deberá absorber un mínimo de 30dB en los ruidos motivados por la circulación en curva

### 1.6.3 Elementos de freno

Cada bogie incorporará dos cilindros de freno, uno de ellos con muelle acumulador para el frenado de estacionamiento y dispositivo de aflojamiento manual.

El regulador de juego compensará automáticamente en freno los desgastes de guarniciones, discos y timonerías.

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

Los discos de freno estarán diseñados de forma que puedan soportar sin deterioro, deformación, o calentamiento excesivo, el frenado del coche a cualquier velocidad, sin limitación de tiempo de servicio (deberá suponerse servicio continuo), ni pérdida de eficacia.

Se preverá su sustitución por discos partidos sin necesidad de descalar ruedas. El suministrador presentará una memoria de las operaciones necesarias para esta sustitución y planos constructivos del disco partido, en el condicionamiento del bogie ofertado.

Se indicarán presiones de calado de los discos sobre el eje, incorporando éstos el correspondiente sistema de extracción tipo SKF.

Para un mismo bogie, la ubicación de los discos de freno será tal que no produzca en lo posible esfuerzos anómalos.

## 1.7 Suspensiones

La suspensión del vehículo estará formada por dos etapas, primaria y secundaria, garantizando entre ambas un adecuado grado de confort en el departamento de viajeros y una correcta circulación del bogie tanto en curva como en recta, salvaguardando al vehículo de las posibles irregularidades de la vía, conjugando el confort con el comportamiento vertical y transversal, teniendo en cuenta el gálibo máximo admisible en las líneas a las cuales se adscribirá el material rodante y las aceleraciones verticales máximas permitidas según norma ISO.

Se indicarán las frecuencias propias de la caja obtenidas, debiendo existir un buen factor de desacoplamiento con los movimientos perturbadores.

### 1.7.1 Suspensión primaria

La estructura del bogie se apoyará sobre los ejes (mediante las cajas de grasa) a través de esta suspensión, que además servirá para el correcto guiado del eje y para la transmisión de los esfuerzos de guiado, tracción y freno, en las tres direcciones del espacio, no aceptándose por tanto guías de eje a base de láminas metálicas, u otro sistema rígido de guiado de ejes.

La suspensión primaria será a base de elementos de caucho sintético o caucho-acero, con una duración mínima de 1.000.000 de kilómetros ó 10 años, sin que en este período existan pérdidas de características de la suspensión, con las condiciones de carga previstas.

A título orientativo, se considera que la flexibilidad vertical adecuada para la suspensión correspondiente a cada caja de grasa es del orden de 12,5 mm/Tm en tara y de 7 mm/Tm con sobrecarga máxima normal. La flexibilidad horizontal o transversal será de 6 mm/Tm en tara y de 4 mm/Tm bajo la carga máxima normal. Deberán especificarse en la oferta aquellos valores, para los aspectos antes citados, que el Constructor considere óptimos, indicándose asimismo, en la oferta, el diagrama de estabilidad del resorte de caucho sometido a carga alternativa en función del tiempo, así como los diagramas de flexibilidad en las tres direcciones del espacio. También se indicarán las deflexiones iniciales, si las hubiera, y las medidas de estabilización, calculándose las rigideces de los mismos en estas condiciones, es decir, las reales de trabajo.

Estos elementos serán intercambiables entre sí, para los coches motores. Igualmente serán intercambiables las suspensiones de los remolques. Vendrán marcados con un número de serie, cargas admisibles, mes y año.

Se dispondrán entre la caja de grasa y la suspensión los elementos necesarios para que en caso de descarrilamiento pueda levantarse el eje.

### 1.7.2 Suspensión secundaria

El apoyo de la viga bailadora sobre la estructura del bogie, se realizará por medio de una suspensión neumática de balones con diafragma, con el amortiguamiento propio necesario que evite, a ser posible, el empleo de amortiguadores verticales, asegurando que no sobrepase en ningún momento el gálibo máximo admisible.

Se indicará la frecuencia propia de la suspensión, la cual se mantendrá constante en cualquier condición de carga y circulación, así como los diagramas de flexibilidad vertical y transversal en los distintos estados de carga y datos de vida probable de la misma.

La altura de la caja sobre el bastidor de bogie debe ser constante e independiente de la carga del coche, por lo que la suspensión incorporará una válvula de nivelación.

Existirán los elementos de seguridad necesarios para que, en caso de pérdida de presión en uno, o en la totalidad de los balones, el tren pueda continuar su marcha hasta desalojar pasaje en la siguiente estación y posterior retiro a los talleres. En esta situación no se deben producir, ni aunque sea momentáneamente, inclinaciones anormales que no puedan ser absorbidas por los acoplamientos entre coches, o salirse del gálibo indicado, ni impedir el giro normal del bogie. Igualmente tendrán un tope de recorrido máximo vertical para prevenir el excesivo hinchado en los balones. Este dispositivo podrá servir, asimismo, para levantar el bogie en el caso de descarrilamiento debiéndolo dejar girar libremente. También se preverá que pueda levantarse la caja hinchando los balones, para facilitar la colocación de los gatos de encarrilar.

Existirá un sistema de detección de averías relativas a la suspensión neumática que avise de la anomalía surgida.

### **VIGA BAILADORA**

El apoyo de la caja sobre el bogie se realizará, como ya se ha dicho, por medio de la viga bailadora a través de la suspensión secundaria, que la unirá al bastidor del bogie y a una corona rodamiento para permitir el giro relativo de la caja sobre el bogie.

Respecto al material, condiciones de trabajo y fabricación de la viga bailadora, se atenderá a lo especificado para el bastidor del bogie en las partes que sean comunes, incluido el tratamiento de alivio de tensiones una vez efectuadas las soldaduras.

### **UNIÓN CAJA-BOGIE**

La viga bailadora incorporará una corona de rodamiento.

Se indicará si la corona es de engrase permanente, o en caso contrario los ciclos de mantenimiento, debiendo ser el período de lubricación superior a los 300.000 km, y el desmontaje para revisión y limpieza no menor de 600.000 km. La duración mínima debe ser superior a 1.800.000 km.

La corona será de bolas o de rodillos, característica que justificará el Constructor, así como el par antilazo del sistema de apoyo, el cual podrá ser variado de forma sencilla. Si es posible y no condiciona en ningún sentido el proyecto, se incorporará el actual "Rotheerder" de la serie 1.000.

## **1.8 Motores de Tracción**

El bogie será bimotor con los motores suspendidos de los traveseros centrales del bastidor del bogie.

Podrán extraerse los motores, tanto por la parte inferior, sin desmontar la caja, como por la parte superior, una vez separado el bogie de la caja.

Estará provisto de los dispositivos necesarios para que en caso de rotura de los amarres se impida la caída del motor a la vía.

La posición de los motores en el bogie será tal que además de una correcta distribución de pesos y esfuerzos en cuanto a estabilidad de marcha, cargas sobre la vía, etc. sean fácilmente accesibles en cuanto a mantenimiento, engrase, ... permitiendo realizar estas operaciones fácilmente con todos los elementos del bogie montados, principalmente accediendo desde el foso.

Se analizará la conveniencia de que los motores estén fijados al bastidor de bogie mediante elementos elásticos.

## **1.9 Reductores**

Los reductores serán de uno o dos grados de reducción, debiendo razonar el Constructor la elección efectuada.

El conjunto reductor-transmisión, estará previsto para la transmisión de toda la potencia del motor, tanto en tracción, como en freno, y podrá absorber las desalineaciones del eje respecto a los motores, así como los choques y vibraciones procedentes de la rodadura sin verse afectado en su trabajo normal.

Se valorará positivamente la reducción de masas no suspendidas.

La transmisión no deberá aumentar la rigidez de la suspensión primaria.

Los esfuerzos de reacción originados en el reductor, se absorberán a través de un brazo antipar que una el reductor con el bastidor del bogie.

El ajuste de la transmisión y rodamientos y posicionado de los engranajes, deberá poder realizarse de forma fácil y segura.

El funcionamiento del reductor será silencioso, por lo que se emplearán engranajes helicoidales. Las ruedas dentadas irán montadas sobre rodamientos de primeras marcas, debiéndose indicar la vida útil prevista de los mismos.

Los rodamientos cumplirán la norma UNE-EN-22080.

Se garantizarán que en los dientes de engranaje no aparecen fenómenos de pitting visibles a la vista al menos en 15 años.

Los cárteres serán perfectamente estancos, en especial en la zona de unión cárter-motor, no debiéndose añadir aceite hasta el cambio de lubricante. Se estudiará la posibilidad de emplear juntas dinámicas.

El nivel de aceite será fácilmente visible a través de una mirilla transparente. Se marcarán los niveles máximo y mínimo.

### **1.10 Equipo de freno en el bogie**

El equipo de freno encargado de transformar la energía cinética del coche en calor constará básicamente del conjunto cilindro-timonería y del disco de freno; asimismo, incluirá el sistema de freno de estacionamiento.

Debe ser estudiado para la velocidad de 90 km/h y bajo carga excepcional en cualquier estado de degradación del material o componentes

#### **1.10.1 Cilindros de freno**

Los cilindros o bloques de freno estarán instalados en lugares lo más accesibles posible, siendo fácil la sustitución de las zapatas, así como el cambio de los cilindros o bloques que podrán realizarse sin desmontar el bogie. El juego entre zapata y disco, se mantendrá constante gracias a la acción de un regulador que compense automáticamente el desgaste de las zapatas. El regulador estará incorporado en el cilindro o bloque de freno.

El interior de los bloques o cilindros deberá estar protegido contra la entrada de polvo, salinidad y corrosión.

El Constructor indicará en la oferta los plazos de mantenimiento y revisión general necesarios, así como las medidas adoptadas para evitar su caída a la vía o el ruido producido por el juego de sus elementos.

#### **1.10.2 Timonería**

La timonería estará simplificada al máximo, con una amplificación de la fuerza a transmitir, en los casos que sea necesario. En los bloques de freno, esta amplificación mecánica deberá ir incorporada en el propio bloque, deseándose que a pesar de los desgastes máximos de las

guarniciones, no sea necesario proceder a la regulación intermedia de la timonería, obteniéndose el máximo esfuerzo de freno con un rendimiento de la timonería del 90%.

### 1.10.3 Zapatas de freno

Las zapatas serán sintéticas y de bajo coeficiente de fricción, no aceptándose amianto en su composición. Se deberá garantizar una duración media de, como mínimo, 100.000 km.

Deberán asegurar un frenado silencioso, sin chirridos. Las zapatas quedarán ajustadas perfectamente para que no tengan holgura y no provoquen desgastes prematuros.

### 1.10.4 Freno de estacionamiento

Se dispondrá un dispositivo de freno de estacionamiento que deberá ir incorporado al propio cilindro o bloque normal de servicio, mediante un resorte que actúe cuando disminuya la presión de aire.

El freno de estacionamiento podrá mantener el coche parado con plena carga de pasaje en rampa del 50%. Se presentará con la oferta el cálculo justificativo del número de bloques o cilindros de freno necesarios.

El desbloqueo del freno de estacionamiento podrá realizarse manualmente desde la cabina o el departamento de viajeros, preferiblemente mediante un sistema directo o con sirga; con la aplicación de aire a presión, este dispositivo debe desenclavarse automáticamente

## 1.11 Equipo eléctrico

### 1.11.1 Alta tensión

#### Pantógrafos

Se garantizará el perfecto contacto con la catenaria rígida en todas las gamas de alturas, desde la posición inferior hasta la posición superior, manteniendo la fuerza estática nominal dentro de la tolerancia, según norma EN 50206.

El sistema operativo de los pantógrafos será electroneumático, con válvula de anulación individual, la maniobra de abatimiento en la fase de despegue será lo más rápida posible, amortiguándose al final del abatimiento.

El esfuerzo de apoyo sobre el hilo de contacto de la catenaria rígida será regulable y constante, e independiente de la altura de captación.

Las bandas de frotamiento serán de cobre electrolítico.

En el techo del coche y al lado del pantógrafo se instalará un cofre para el fusible de protección de la línea, con indicador de fusión del mismo, cuyo estado estará monitorizado por el sistema informático embarcado.

Se preverá que con un solo pantógrafo por unidad se pueda mantener el tren en servicio sin ninguna limitación.

El montaje del pantógrafo sobre el techo se hará con las máximas seguridades de aislamiento con las partes metálicas próximas.

### Watihorámetro

Si el cliente así lo deseara, podrá instalarse un Watihorámetro que constará de la instalación y equipos necesarios para efectuar la medición de la energía eléctrica absorbida del suministro de A.T., así como de la energía recuperada durante el frenado regenerativo.

El equipo de medida estará situado bajo bastidor a la entrada del circuito de alta tensión, de manera que se mida toda la corriente eléctrica de entrada o salida de la unidad.

La lectura de los valores de energía absorbida y devuelta deberá realizarse por separado en puesto de conducción, mediante contadores de tipo mecánico, con objeto de que la medida no precise de alimentación adicional para su mantenimiento o lectura. Las lecturas se mostrarán en Kwh-consumidos y Kwh-recuperados.

La lectura de los watihorámetros podrá ser accesible a través del sistema informático, cuando el tren esté conectado. Para ello se dotará al watihorámetro del interface necesario para poder conectarlo al bus del mismo. La información podrá ser consultada a través de la pantalla del puesto de conducción, o ser enviada al CCM a través del canal de comunicaciones que se determine durante el proyecto.

### Pararrayos

En la entrada de alta tensión de cada unidad se situará un dispositivo de seguridad contra sobretensiones, estático, carente de reglajes, de mantenimiento y cuyas características no se degraden con el tiempo ni agentes exteriores

### Protecciones de acceso y puesta a tierra de equipos con alta tensión

Los cofres con equipos conectados a alta tensión dispondrán de un sistema de protección para garantizar la seguridad del personal de mantenimiento, con objeto de evitar el contacto voluntario o fortuito con elementos bajo tensión.

La activación de la desconexión de la alta tensión y la puesta a tierra de los circuitos deberá activarse accionando un dispositivo de seguridad con enclavamiento, que deberá situarse en un emplazamiento adecuado y con las protecciones necesarias para evitar su accionamiento involuntario. Todos los equipos conectados a alta tensión dispondrán de señalizaciones ópticas visibles desde el exterior de dichos equipos, que indiquen la ausencia de tensión.

## **1.11.2 Baja tensión**

### Batería

Cada tren irá equipado con dos baterías de acumuladores, compuestas por elementos alcalinos de níquel-cadmio, cuya tensión nominal se determinará teniendo en cuenta las curvas características facilitadas por el fabricante, de forma que su mantenimiento se reduzca al mínimo.

A título orientativo se indica que la tensión de carga se situará alrededor de 1,48 V/elemento por cada elemento de 1,2 V. El negativo será el único punto del circuito de baja tensión conectado a masa.

La tensión nominal de la batería será de 72 V. Se analizarán otras posibles ofertas por parte del adjudicatario.

Las baterías serán capaces de alimentar por si solas durante 1 hora los circuitos de alumbrado y ventiladores de emergencia.

En el bastidor, junto a la batería, se colocará un seccionador que permita desconectarla en carga. Se instalará asimismo un magnetotérmico o fusible para la protección de la misma y un enchufe que permita recargarla desde el exterior. El estado de dicho elemento de protección deberá estar monitorizado por el sistema informático embarcado.

La batería se montará sobre unos bastidores de acero inoxidable situados bajo bastidor del coche, de forma que toda ella pueda deslizarse con facilidad hacia el exterior para su inspección o cambio; este bastidor permitirá la sustitución de la batería en todo su conjunto. Se cuidará la ventilación del recinto de forma que no puedan producirse acumulaciones de gases.

### Convertidores estáticos

Los convertidores estáticos tendrán las siguientes funciones:

- Generar y regular la carga de batería y la tensión de los circuitos que se alimentan a partir de la misma.
- Generar las tensiones alternas necesarias para alimentar a los circuitos de baja tensión y de aire acondicionado de cada unidad. Dichas tensiones serán de 400Vca y 230Vca.
- Generar y regular la tensión de 24 Vcc para alimentar a los equipos y circuitos de la unidad que lo requieran.

El suministro de alta tensión podrá ser a +1200 Vcc ó +1500 Vcc indistintamente.

En función de dicho valor, los convertidores modificarán los parámetros de funcionamiento que sean necesarios, sin reducción de sus prestaciones nominales, ni aparición de situaciones en las que se ponga en riesgo la seguridad del equipo.

El convertidor deberá poder suministrar su potencia nominal en un tiempo máximo de cinco segundos, después de su puesta en marcha.

El rendimiento será como mínimo del 90% desde media hasta plena carga, para todo el margen de tensión de entrada especificado, valorándose muy favorablemente aquellos equipos que ofrezcan rendimientos energéticos superiores.

El convertidor estará dotado de las protecciones necesarias para evitar daños en sus componentes en caso de cortocircuito, sobrecarga, sobretensiones, subtensiones, exceso de temperatura, funcionamiento anormal de alguno de sus elementos, así como frente a cualquier otra circunstancia que el fabricante considere conveniente para la protección del equipo.

### Cargador de baterías

Cada unidad irá dotada de un cargador de batería que:

- Generará y regulará la corriente y tensión necesarias para la carga de batería.
- Proporcionará la alimentación de todos los equipos y circuitos de la unidad que se alimentan de la batería.

Los siguientes circuitos y sistemas del tren deberán funcionar alimentándose a partir de la batería, con objeto de garantizar su funcionamiento en ausencia de alta tensión:

- Circuitos eléctricos de mando
- Sistema informático embarcado

- Alumbrado fluorescente ordinario (durante 30 segundos desde la pérdida de alta tensión y pasados los cuales funcionará sólo el alumbrado de emergencia).
- Megafonía.
- Radiotelefonía y sistemas de comunicaciones tren - tierra bidireccionales
- Faros y pilotos externos.
- Control electrónico y accionamiento eléctrico de las puertas de pasaje.
- Control del equipo neumático
- Electroválvulas antibloqueo.
- Avisadores acústicos de cierre de puertas
- Sistema de conducción automática y ATP-ATO
- Información a viajeros en monitores de TV (durante un tiempo mínimo de 30 segundos desde la desaparición de la alta tensión, debiéndose estudiar el incremento de dicho tiempo, en función del consumo energético global del equipo).
- Equipo anunciador de estaciones
- Equipo de registro de seguridad (caja negra )
- Equipo de vídeovigilancia.
- Ventilación de emergencia.
- Otros equipos que el Constructor considere oportunos

## 1.12 Equipo neumático

La instalación neumática del vehículo se puede considerar bajo dos aspectos:

1. Producción y almacenamiento de aire comprimido que engloba lo referente al compresor, depósitos, instalación, regulación y protecciones.
2. Consumo de aire comprimido, es decir, equipo de freno, accionamiento de pantógrafos, suspensión secundaria, circuitos auxiliares, etc.

### 1.12.1 Producción y almacenamiento de aire comprimido

#### Compresor

En cada unidad de tren se montará un grupo motor-compresor para producir el aire comprimido necesario, teniendo en cuenta que:

- Será alternativo, debiendo indicarse las características principales, el mantenimiento previsto y su uso en otras administraciones.
- La presión de trabajo estará comprendida entre 8,5 y 10 kg/cm<sup>2</sup>, regulable.

- Podrá funcionar en régimen continuo, sin detrimento de sus características, con una contrapresión de 11 kg/cm<sup>2</sup>.
- En carga y con tensión y revoluciones nominales en el motor de arrastre, el nivel de ruidos no será superior a 65 dB (A), medidos en los tres ejes a 1 m del compresor en un ambiente no reverberante. Incorporará un carenado que amortigüe el ruido.
- En condiciones normales de presión y temperatura se garantizará que el tiempo relativo de funcionamiento del grupo durante el servicio, no será superior al 25%.
- En caso de ir acopladas dos unidades y fallar el grupo de una de ellas, el otro será capaz de mantener el servicio normal del tren completo, aumentando proporcionalmente el tiempo relativo de funcionamiento del grupo
- Será de dos etapas con refrigeración intermedia forzada. A la salida del compresor se instalará un sistema amortiguador de vibraciones.
- Será de fabricación normalizada y ampliamente experimentado en servicio ferroviario.

### Depósitos

El Constructor colocará los depósitos necesarios para abastecer a toda la instalación neumática de la unidad con la presión mínima nominal del compresor, de forma que puedan efectuarse, como mínimo, cinco frenados consecutivos a fondo, con parada completa de la unidad en el caso de no funcionar el compresor, así como, otras tantas operaciones de elevaciones y abatimientos del pantógrafo.

### Instalación

El aire, inmediatamente después de ser comprimido, pasará por un refrigerador, por un separador del aceite en suspensión y por un secador de doble columna. Se añadirá a este sistema una purga adecuada cuyos vertidos no incidirán sobre los carriles y cuyo funcionamiento podrá estar asociado, o no, al propio funcionamiento del compresor.

Después pasará a los depósitos principales y de ahí a la tubería de alimentación.

### Regulación y Protecciones

Los coches que lleven el grupo compresor tendrán un regulador, ajustado entre las presiones de trabajo y cuya actuación permita la conexión o desconexión de los contactores del compresor.

## **1.12.2 Consumo de aire comprimido**

### Equipo de freno neumático

Se recomienda que el freno neumático sea de tipo analógico de ajuste fino, y seguirá un criterio fail-safe.

Por lo que respecta a su actuación como freno de urgencia, asumirá toda la potencia de frenado necesaria para detener totalmente el tren con la máxima deceleración.

Principales características:

- Estará preparado para sustituir total o parcialmente, de forma automática, el freno eléctrico, en el supuesto de avería del mismo y de manera que mantenga los mismos valores de deceleración.
- La presión de los cilindros de freno variará automáticamente con la carga del vehículo, de manera que el frenado sea independiente de ésta.
- La maniobra de frenado o desfrenado será rápida y simultánea en todo el tren. La oferta deberá especificar claramente los tiempos de respuesta del sistema de freno (tiempo transcurrido desde la orden en cabina hasta que se ejecute totalmente).
- En las diversas fases de actuación del frenado, deben emplearse técnicas de máxima seguridad. Los equipos, diafragmas, asientos de goma, etc., se diseñarán para conseguir un funcionamiento seguro, suave y sin fugas.
- Los principales aparatos deberán poder retirarse sin necesidad de tener que vaciar la instalación de aire, para lo cual se colocarán grifos que los aislen del resto del circuito.
- Los presostatos serán regulables y no deberán requerir ajuste de tarado alguno, una vez efectuada la primera regulación. Tendrán estanqueidad interna y externa IP-65. El presostato de mínima será de doble contacto en paralelo y de seguridad.
- El tren será capaz de dar una vuelta completa, en servicio normal, frenando únicamente con el freno neumático.

#### Equipo de accionamiento del pantógrafo

La alimentación de este circuito se hará a partir de la tubería principal y válvula de retención unidos a la tubería principal. El volumen útil del depósito será tal que permita la subida y bajada del pantógrafo 10 veces, sin que el depósito reciba aire de la tubería de alimentación.

#### Suspensión neumática

La alimentación se efectuará de la tubería principal a través de una llave de condena, válvula de retención, o similar depósito de reserva.

La ausencia de presión en un balón provocará, en el otro del mismo bogie, análogo efecto.

En caso de necesidad se deberá disponer de un sistema de mando por coche, ubicado en el armario de b.t., por medio del cual se pueda eliminar el aire de la suspensión, asentándose la misma sobre sus topes.

En los bogies existirán los dispositivos necesarios que detecten las variaciones de presión en la suspensión debido a la carga. Esta información se enviará al equipo de control y unidad de freno neumático, con objeto de mantener constantes las aceleraciones y deceleraciones. Las válvulas y los dispositivos de carga quedarán incorporados en el bogie.

## 2 COMPOSICIÓN DE LOS TRENES

Se propone que los trenes estén formados por siete coches, cinco de ellos motrices, y dos remolques. Una posible composición será de MA<sub>1</sub>-MB<sub>1</sub>-R<sub>1</sub>-MC-R<sub>2</sub>-MB<sub>2</sub>-MA<sub>2</sub>, con pupitre de conducción escamoteable en los extremos.

MA: Coche motor con pupitre de conducción escamoteable

MB y MC : Coches motores

R: Coche remolque



### 3 DIMENSIONES, PESOS Y CAPACIDADES ORIENTATIVAS

A nivel orientativo, las características principales del material móvil serán las siguientes (medidas en milímetros)

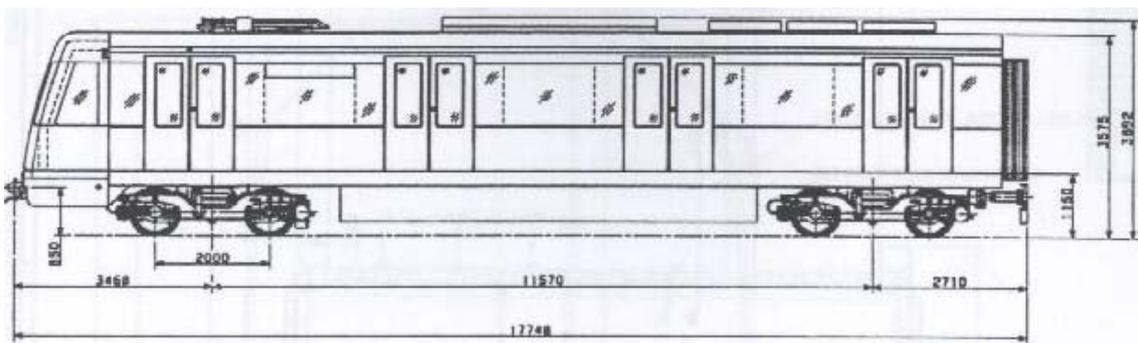
Las alturas indicadas se considerarán medidas desde el plano de rodadura de la vía y deberán ser invariables en los distintos estados de carga, aceptándose como desviación máxima la correspondiente a la flexibilidad de la suspensión primaria.

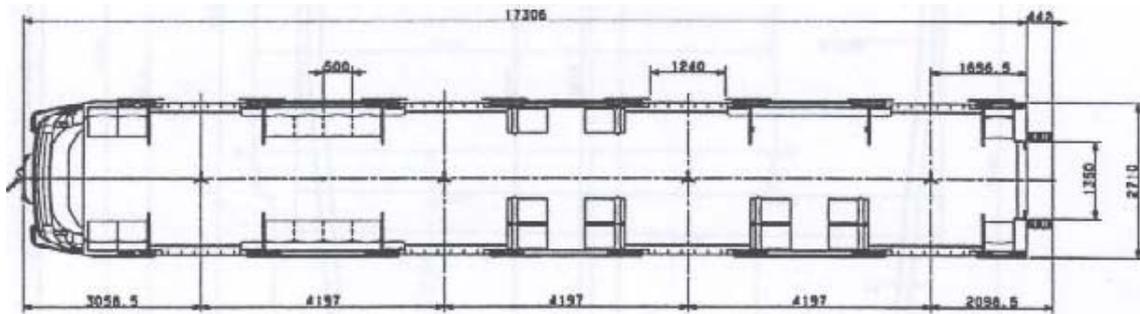
El proyectista deberá comprobar su idoneidad en función del perfil máximo de ocupación, para lo cual deberá calcular la sección óptima de la caja, construyendo una maqueta regulable transversalmente y montada sobre vagoneta para verificar que no existen interferencias de gálibo en ningún punto de los túneles

#### 3.1 MA (Coche motor con pupitre)

##### DIMENSIONES:

- Longitud Exterior de la caja entre paredes testeras: 17.428 mm
- Longitud total entre partes planas de enganche: 17.748 mm
- Ancho máximo exterior de la caja a nivel de piso: 2.746 mm
- Altura del piso de coche: 1.150 mm
- Altura mínima techo interiorismo caja: 2.100 mm
- Altura total del coche: 3.892 mm
- Distancia aproximada entre centros de pivotes de bogies: 11.570 mm
- Número de puertas en cada costado de coche: 4
- Ancho útil de cada puerta: >1.240 mm
- Altura útil de cada puerta: > 1.900 mm
- Diámetro de ruedas nuevas: 840 mm
- Diámetro de ruedas mínimo: 740 mm





## CAPACIDADES

Tabla 3-1. Capacidades del coche MA

CAPACIDADES DE LOS COCHES				
PASAJEROS / M2	4	6	8	9
<b>COCHE MOTOR A</b>				
SENTADOS	24	24	24	24
DE PIE	133	201	267	300
<b>TOTAL</b>	<b>157</b>	<b>225</b>	<b>291</b>	<b>324</b>

Fuente: Suministradores de material rodante

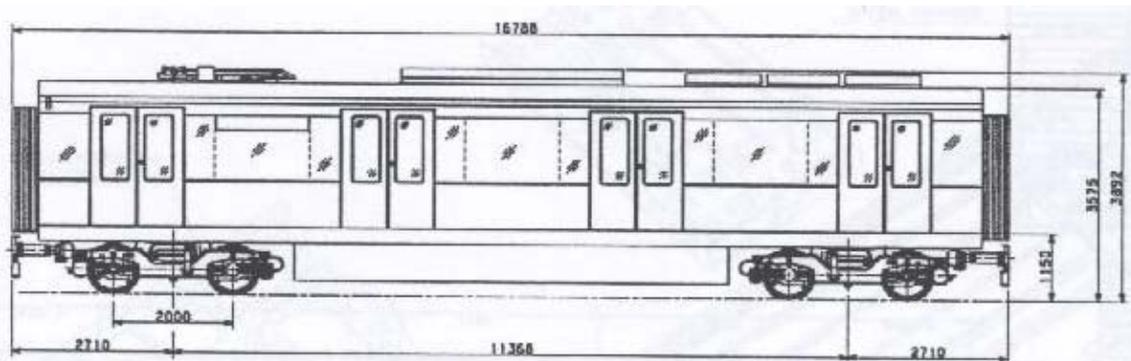
## PESO:

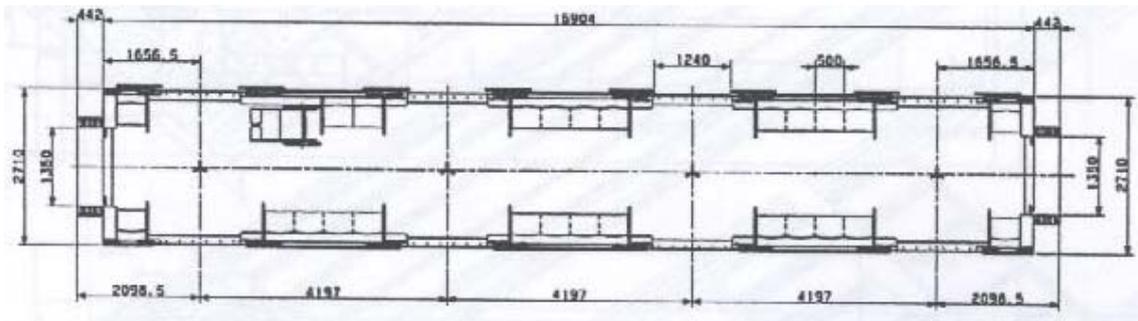
6 Toneladas

### 3.2 MB-MC (coche motor)

#### DIMENSIONES

- Longitud Exterior de la caja entre paredes testeras: 16.148 mm
- Longitud total entre partes planas de enganche: 16.788 mm
- Ancho máximo exterior de la caja a nivel de piso: 2.746 mm
- Altura del piso de coche: 1.150 mm
- Altura mínima techo interiorismo caja: 2.100 mm
- Altura total del coche: 3.892 mm
- Distancia aproximada entre centros de pivotes de bogies: 11.386 mm
- Número de puertas en cada costado de coche: 4
- Ancho útil de cada puerta: >1.240 mm
- Altura útil de cada puerta: > 1.900 mm
- Diámetro de ruedas nuevas: 840 mm
- Diámetro de ruedas mínimo: 740 mm





## CAPACIDADES

Tabla 3-2. Capacidades del coche MB

CAPACIDADES DE LOS COCHES				
PASAJEROS / M2	4	6	8	9
<b>COCHE MOTOR B/C</b>				
SENTADOS	26	26	26	26
DE PIE	143	214	285	321
<b>TOTAL</b>	<b>169</b>	<b>240</b>	<b>311</b>	<b>347</b>

Fuente: *Suministradores de material rodante*

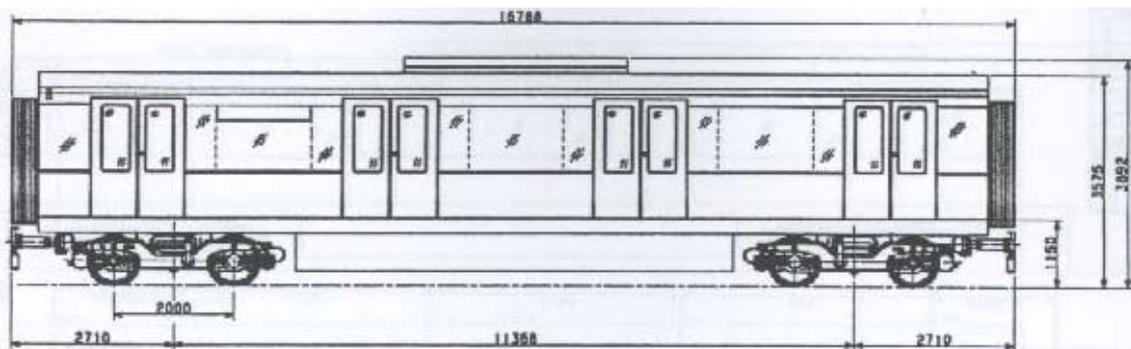
## PESO:

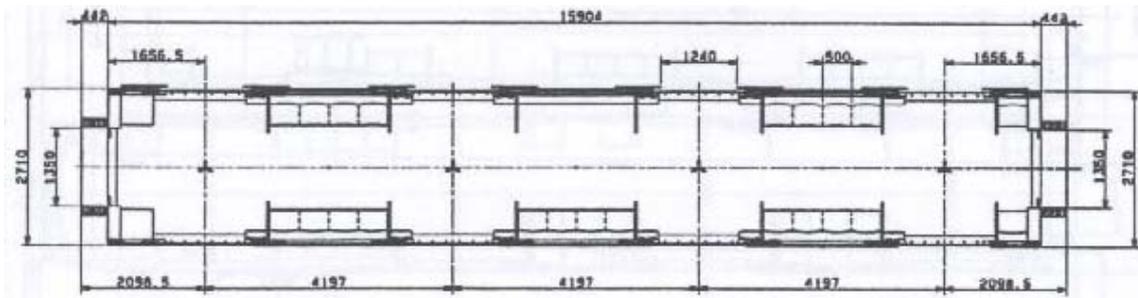
5,6 Toneladas

### 3.2.1 R (coche remolque)

#### DIMENSIONES:

- Longitud Exterior de la caja entre paredes testeras: 16.148 mm
- Longitud total entre partes planas de enganche: 16.788 mm
- Ancho máximo exterior de la caja a nivel de piso: 2.746 mm
- Altura del piso de coche: 1.150 mm
- Altura mínima techo interiorismo caja: 2.100 mm
- Altura total del coche: 3.892 mm
- Distancia aproximada entre centros de pivotes de bogies: 11.386 mm
- Número de puertas en cada costado de coche: 4
- Ancho útil de cada puerta: >1.240 mm
- Altura útil de cada puerta: > 1.900 mm
- Diámetro de ruedas nuevas: 840 mm
- Diámetro de ruedas mínimo: 740 mm





## CAPACIDADES

Tabla 3-3. Capacidades del coche R

CAPACIDADES DE LOS COCHES				
<b>PASAJEROS / M2</b>	4	6	8	9
<b>COCHE REMOLQUE</b>				
SENTADOS	22	22	22	22
DE PIE	143	213	284	320
<b>TOTAL</b>	<b>165</b>	<b>235</b>	<b>306</b>	<b>342</b>

Fuente: Suministradores de material rodante

## PESO:

5,6 Toneladas

## 4 CALIDAD Y CONFIABILIDAD

### 4.1 Pruebas y Ensayos

#### 4.1.1 Normativa

Los fabricantes de los trenes y de sus equipos indicarán las normas y especificaciones técnicas que deberán cumplir (UNE, UIC, CEI, DIN, NF, etc.) para su aprobación por la propiedad de los trenes.

#### 4.1.2 Ensayos

Todas las pruebas estarán condicionadas a las características de los equipos y materiales que resulten seleccionados en el contrato final.

Se realizarán ensayos de tipo para verificar la calidad del vehículo, de acuerdo con los documentos técnicos que se generen y del servicio que se espere de ellos, comprobando que estén de acuerdo el proyecto con proceso de fabricación.

Los ensayos tipo se realizarán, salvo casos excepcionales y previa autorización, en el 1% como mínimo de elementos de la serie.

Los ensayos de serie representarán una parte de los de tipo. Se realizarán para comprobar las características que puedan sufrir modificación durante la fabricación y se efectuarán sistemáticamente sobre todas las piezas, o eventualmente, sobre una muestra representativa de éstas.

#### **Ensayos de vibraciones:**

Los equipos estarán diseñados para trabajar con vibraciones de frecuencias ascendentes y descendentes entre 1 Hz y 100 Hz, sin que afecten a su funcionamiento.

Se realizarán ensayos de vibraciones de aplicación tanto para los materiales eléctricos y electrónicos como para los componentes.

Los equipos montados en sus cofres se someterán a diversos ensayos de vibraciones que permitirán el análisis de los efectos que producen las frecuencias de excitación más probables, la búsqueda de frecuencias críticas y la resistencia a la fatiga de un barrido de frecuencias y a las frecuencias críticas (en una duración total de 6h)

El material deberá funcionar normalmente a lo largo de todo el ensayo, y en ningún caso el coeficiente de amplificación será superior a 10.

Si el material a ensayar tuviese parte móvil, el ensayo se realizaría en diversas fases de funcionamiento.

El grado de severidad de la aceleración de excitación se fijará en función del peso del material a ensayar

#### **Ensayos de choques mecánicos:**

Los equipos montados en sus cofres se someterán en funcionamiento, sin deterioro, a un ensayo de choque con las siguientes características:

Tres choques aplicados sucesivamente en cada sentido y en cada una de las tres direcciones principales del aparellaje y montado sobre la máquina de ensayo con sus fijaciones de servicio.

El choque a aplicar consistiría en un pulso aproximado a una de las curvas características de aceleración – tiempo.

El grado de severidad a aplicar sería, para el material montado sobre bogie de un pulso de 6ms y aceleración máxima de 100g, y para el material montado en la caja un pulso de 18 ms y aceleración máxima de 30g

El equipo eléctrico deberá funcionar normalmente después de la prueba y no deberá haber sufrido ninguna degradación.

#### **Ensayos de nivel acústico:**

En estático, los niveles acústicos máximos a 1 metro de distancia y en cualquier dirección de cada equipo montado en su cofre, y en todas las posibles condiciones de funcionamiento. En el exterior del vehículo, serán inferiores a 65 dB (A), admitiéndose para un régimen de arranque, un valor de 70 dB (A)

Se configurarán los ensayos pertinentes y de acuerdo con la propiedad tanto para su interior como para su exterior, siguiendo la normativa ISO especificada a sus efectos.

#### **Ensayos de resistencia al fuego:**

Para la elección de materiales deberá tenerse en cuenta el comportamiento al fuego de éstos, en lo que se refiere a su reacción, su resistencia, sus emisiones de humos y gases tóxicos, y resto de características reguladas.

Los materiales tendrán una clasificación según su comportamiento al fuego, índice de oxígeno, opacidad de los humos, toxicidad de los gases emanados, que asignarán un índice global M y F, que asocia dicho material al riesgo que este puede generar en caso de incendio.

Se deberá tener en cuenta la normativa que haga referencia y esté en vigor para:

1. Clasificación de las cinco clases M
2. Los revestimientos destinados a ser encolados
3. Los artículos de dimensiones reducidas, pero con repercusión en el comportamiento al fuego del tren
4. Los conductores y cables eléctricos

#### **Ensayos de estanqueidad:**

Los equipos montados en cofres serán estancos a la entrada de agua y suciedad ambiental. Aquellos que por sus características no puedan cumplir con esto, incorporarán todo lo necesario para su protección, como filtros o desagües, por ejemplo.

Durante la fase de proyecto el constructor indicará y justificará el grado de IP de las envolventes

Los ensayos a los que hacemos referencia están regulados y descritos en la norma CEI 529

#### **Ensayos de campos electromagnéticos:**

Los equipos eléctricos y electrónicos instalados en los trenes, en lo que se refiere a las perturbaciones generadas por los propios equipos como para la inmunidad de los mismos frente a perturbaciones externas, deberán cumplir con las normas:

EN-50.121-1

EN-50.121-2

EN-50.121-3-1

EN-50.121-3-2

EN-50.121-4

### **Caja y traviesas.**

- Ensayos de homologación.

Se efectuarán mediciones de esfuerzos internos en condiciones dinámicas en el tren de cabeza de serie, con el cometido de determinar las sollicitaciones en los puntos críticos que se manifiestan durante los ensayos en banco o aquellos otros que puedan acordarse

- Ensayos de la caja en blanco
- Ensayos estáticos y dinámicos

Estos ensayos los efectuará el constructor para verificar el adecuado comportamiento de las cajas. Se efectuarán en una caja en blanco en la que se colocarán galgas extensiométricas en número suficiente, cumpliendo lo especificado en la norma EN 12663, prescripciones de dimensionamiento de las estructuras de los vehículos ferroviarios.

La caja se apoyará sobre cuatro soportes en un mismo plano. Posteriormente, uno de los apoyos puede desplazarse hacia abajo para simular el ensayo de torsión.

Se comprobarán las siguientes características:

- Pesado de caja
- Cargas verticales
- Compresión y tracción
- Ensayo de torsión bajo carga vertical
- Ensayo de torsión bajo carga vertical combinada con compresión axial
- Encarrilamiento
- Levante con gatos
- Especificación
- Ensayos dinámicos

## **Ensayos en traviesa pivote**

Los ensayos estáticos y dinámicos de la traviesa pivote estarán incluidos en los ensayos de la caja

## **Bogie**

### **Bastidor de bogie**

Estos ensayos tienen como finalidad verificar la resistencia mecánica del bastidor, en particular la no aparición de deformaciones permanentes o grietas por fatiga, tanto en condiciones normales como excepcionales que puedan producirse durante el servicio. Para ello deberán de tenerse en cuenta los esfuerzos estáticos, los de arranque y frenado, los esfuerzos de guiado, sobrecargas verticales, aceleraciones y deceleraciones máximas longitudinales y transversales.

Para la realización de los ensayos se tendrá en cuenta las solicitaciones existentes en el bogie más cargado.

Se simulará la unión caja-bogie y las suspensiones primaria y secundaria

### **Ensayos estáticos**

Las cargas serán en vertical, en transversal, en longitudinal, teniendo en cuenta el esfuerzo de reacción del reductor, de los motores y de frenado

El desarrollo de los ensayos contemplará la aplicación de lacas frágiles que detectarán las zonas más solicitadas y la dirección de los esfuerzos. Se colocarán galgas extensiométricas en las zonas más solicitadas y se registrarán esfuerzos y deformaciones

### **Ensayos dinámicos**

Constará de tres fases, las dos primeras a  $3 \times 10^6$  ciclos en donde en la segunda se simulará una rampa de peralte elevando uno de los apoyos, y la tercera fase estará compuesta por seis escalones de frecuencias.

### **Ensayos en línea**

Tendrán por objeto determinar las solicitaciones en los puntos críticos de los bogies que se manifiestan durante los ensayos en banco o aquellos otros que de común acuerdo se definan

### **Ensayos de homologación de los reductores**

El primer reductor se someterá a ensayos de tipo.

El resto estarán sometidos a ensayos de serie, en el transcurso de los cuales los de tipo podrán repetirse sobre ciertos reductores previa solicitud

### **Ensayos de resistencia**

Estos ensayos se llevarán a cabo separadamente y por cada sentido de rotación, a los valores de par y de velocidad correspondiente a las diferentes características de tracción.

La simulación consistirá en realizar ensayos correspondientes a recorridos de ida y de vuelta.

Las mediciones pueden determinar la aceleración máxima, la velocidad máxima y la deceleración máxima

Los valores obtenidos deberán de cumplir con las especificaciones técnicas establecidas.

#### **Ensayo de calentamiento del conjunto de freno de disco**

Se realizará en un banco de inercia, comprobando el comportamiento de la pastilla de freno y la temperatura, así como su desgaste homogéneo

El programa de ensayos reproducirá el funcionamiento del tren en una vuelta, estando asegurado el frenado tan sólo por el freno neumático, y reproduciendo las interestaciones de la línea. Se cumplirá con lo establecido en la norma UIC 541-3

Ensayo de desplazamiento relativo caja-bogie

#### **4.2 Garantías**

En términos generales, sugerimos que el Constructor se responsabilice de todo el material y mano de obra –incluyendo todos los accesorios utilizados en la construcción del coche– de la adecuada instalación y conexión de todos los equipos y aparatos, así como del funcionamiento de todo el tren como conjunto y en cada uno de los elementos –tanto de construcción propia como los que a él le han suministrado otros Fabricantes o Proveedores– hasta los DOSCIENTOS CINCUENTA MIL KILÓMETROS de recorrido, o en su defecto, durante el plazo de VEINTICUATRO MESES, (lo que antes ocurra), a contar desde el origen de la entrada en garantía.

Una vez realizada la Recepción Provisional de cada tren, se iniciará el período de garantía.

## 5 MANTENIMIENTO

Se entiende por mantenibilidad la capacidad que ofrece un tren o equipo de ser intervenido o conservado, a cualquier nivel, para dejarlo nuevamente en condiciones operativas durante un período dado de tiempo.

Proponemos que se base el mantenimiento del material rodante en tres tipos de ciclos:

- Mantenimiento preventivo de ciclo corto (menos de tres años)
- Mantenimiento preventivo de ciclo largo (más de tres años), consistente en algunos casos en revisiones modulares o por aparatos.
- Mantenimiento Correctivo.

Las acciones del mantenimiento se han encaminado hacia actividades preventivas aplicadas generalmente en los citados ciclos, directamente relacionadas con la vida de los elementos sometidos a desgaste o degradación, preservación de la seguridad, y hacia actividades correctivas, directamente relacionadas con las averías y, en consecuencia, con la fiabilidad.

Los criterios de mantenimiento preventivo tienen que encaminarse a conseguir una mejora en los siguientes aspectos:

- Preservar la seguridad.
- Mejorar la fiabilidad.
- Mejorar la disponibilidad.
- Reducir los costes.

Cabe comentar que es necesario que a lo largo del período de garantía, el Constructor deberá profundizar y encontrar qué mantenimiento debe aplicarse a cada aparato y, específicamente, a los de menor fiabilidad a fin de optimizar los criterios de mantenimiento mencionados.

Por lo tanto, el Constructor deberá tener en cuenta los siguientes principios generales:

- Todo mantenimiento ha de estar basado en los principios de seguridad, eficacia y economía.
- El mantenimiento a realizar en los trenes, será el necesario y suficiente para garantizar permanentemente las condiciones de seguridad, operatividad de la flota y longevidad de los trenes y sus equipos.
- Las condiciones de mantenimiento (cargas de trabajo, períodos, número de personas) deberán mantenerse a lo largo de la vida útil del tren, sin que se requiera variar las condiciones conforme avanza la edad del material móvil.
- La duración de todo mantenimiento ha de permitir la explotación del tren en las horas punta, por lo que la duración de los mismos ha de circunscribirse a esta circunstancia, estableciéndose en los casos que sea preciso, la pronta sustitución de equipos o elementos para el posterior mantenimiento en la revisión de ciclo largo.

- La realización de todo mantenimiento habrá de contemplar unas cadencias y cargas de trabajo realistas en la explotación, de forma que se limite el número de entradas a cocheras para mantenimiento, dadas las dificultades en la introducción de trenes de línea.

Es muy importante que todos los componentes y conjuntos del vehículo, sujetos a sustituciones, sean totalmente intercambiables sin que sea necesario efectuar ninguna operación de adaptación.

Además, todos los componentes y conjuntos del vehículo que deban ser desmontados por avería o deban ser revisados por mantenimiento, deben de estar dispuestos de modo que sean perfectamente accesibles sin necesidad de realizar desmontajes previos, adoptándose, donde sea posible, un sistema modular.

Se debe de reducir al máximo el número de piezas distintas del vehículo. Con este fin las piezas que cumplan funciones análogas serán exactamente iguales o tendrán el mayor número de piezas comunes.

Se deberá garantizar que durante toda la vida de los coches, o por lo menos 30 años, se suministrarán los recambios de las piezas fundamentales o elementos equivalentes.

## **5.1 Plan de asistencia y mantenimiento**

Deberá elaborarse un plan completo de mantenimiento que comprenda desde el mantenimiento preventivo de depósito, hasta los levantes de taller. El estudio sobre el mantenimiento deberá incluir los plazos de revisión que necesite cada elemento sometido a desgaste, el personal necesario en número y especialidad y las horas necesarias para las operaciones.

## **5.2 Tipos de mantenimiento**

Conforme a las condiciones básicas expuestas, sobre todo en relación a la disponibilidad, fiabilidad y mantenibilidad, y cumpliendo como mínimo las mismas, se planteará:

- El mantenimiento correctivo
- El mantenimiento preventivo de ciclo corto

### **5.2.1 Mantenimiento correctivo, incluido vandalismo (a partir del 3<sup>er</sup> año)**

- Materiales para el mantenimiento correctivo
- Mano de obra para el mantenimiento correctivo

### **5.2.2 Mantenimiento preventivo (ciclo corto)**

- Materiales para el mantenimiento preventivo
- Mano de obra para el mantenimiento preventivo

## 6 RECOMENDACIONES

Recomendamos que se tengan en cuenta asimismo, en el proyecto definitivo y el contrato firmado con el constructor, aspectos relativos a:

1. **Inmovilización del Material rodante:** nos referimos a la paralización del material móvil, al no estar apto para prestar servicio comercial, por causas imputables al Constructor
2. **Condiciones generales del mantenimiento:** la capacidad que ofrece un tren o equipo de ser intervenido o conservado, a cualquier nivel, para dejarlo nuevamente en condiciones operativas durante un período dado de tiempo, teniéndose en cuenta los siguientes factores: Naturaleza y necesidades de los mantenimientos, Diseño de los sistemas y Costo del mantenimiento, a lo largo de la vida útil del tren.
3. **Disponibilidad:** la extensión de la calidad operacional, según las necesidades de cada momento. La disponibilidad mide el grado de cumplimiento de la oferta programada. Se valora teniendo en cuenta los trenes que deben circular con pasajeros, según los programas establecidos y los que realmente están a disposición para este servicio
4. **Fiabilidad:** la posibilidad de explotación comercial de un tren o lote de trenes, durante un recorrido o tiempo determinado, sin que se produzca ninguna disfunción. Por su naturaleza, la fiabilidad, los cálculos correspondientes y sus efectos implican a todo el parque móvil. Los efectos del incumplimiento de la fiabilidad (ampliación de la garantía y penalización), continuarán hasta que aquella se alcance, según los criterios que posteriormente se exponen. El Constructor debe de quedar obligado a implantar cuantas modificaciones y sustituciones sean precisas, con objeto de alcanzar la fiabilidad de los diversos conceptos.



## **SISTEMAS DE SEGURIDAD**

## **1 SISTEMA DE VENTILACIÓN**

### **1.1 Descripción General**

#### **1.1.1 Objeto**

La ventilación tiene por cometido renovar el aire para mantenimiento de las condiciones requeridas de salubridad o exigencia por parte de los equipos. El interior de los espacios subterráneos, en concreto las estaciones, los túneles y las salas técnicas bajo superficie, resulta especialmente sensible a las condiciones de ventilación.

Se describirán las distintas tipologías en los sistemas de ventilación elegidos, para proporcionar condiciones saludables del aire interior o hacer frente a una eventual emergencia. Queda fuera del alcance de este documento describir la climatización de los diferentes espacios que la requieran.

La ventilación puede ser natural o mecánica, tal como se describirá más adelante, siendo necesario en el caso de la ventilación mecánica especificar los equipos que constituirán el sistema. En este documento se indicarán los requerimientos de caudal de los grandes equipos de túnel, que deberán ser verificados en fases posteriores del proyecto.

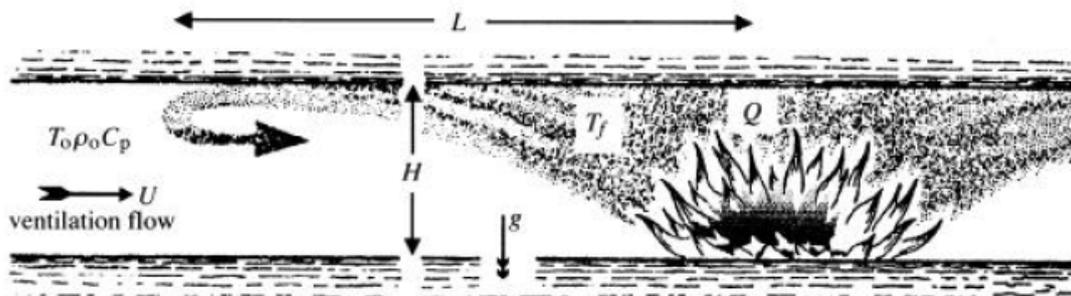
Cuando el tren transcurre por superficie o elevado no es necesario un estudio especial de la ventilación, ya que no existe la particularidad de los espacios subterráneos, siendo las estaciones con dicha configuración a efectos de ventilación, semejantes a otros edificios en superficie.

Entre los espacios subterráneos de una línea de metro se diferenciará entre la ventilación de los túneles y de las estaciones subterráneas, por su diferente configuración. El túnel es una obra claramente lineal, mientras que las estaciones pueden adoptar disposiciones más diversas. Se describirán los sistemas de ventilación asociados a túnel o estación más adelante, mediante una descripción de tramo tipo de túnel y pozo de ventilación tipo, así como la ventilación propuesta para la estación tipo.

#### **1.1.2 Terminología**

##### **“Back layering” o retroceso de los humos**

Se emplea el anglicismo “back layering” para describir el fenómeno de avance de los humos en sentido contrario al de ventilación cuando el valor de la velocidad de ventilación no es suficiente. El avance de los humos contracorriente se debe a la difusión térmica y másica (turbulenta) que se produce de los humos de combustión.



Backlayering in a tunnel fire [Eisner & Smith<sup>1</sup>]

### Efecto pistón

La circulación de los coches a gran velocidad por el interior del túnel transmite al aire un empuje que provoca una corriente de aire. Este es el efecto pistón de la circulación de trenes. Dicho efecto será más acusado cuando mayor sea la velocidad de circulación de los vehículos y mayor sea la relación del área ocupada por el tren frente al área de la sección del túnel. Así mismo, el efecto será mayor en túneles con circulación del tráfico en un único sentido, ya que cuando el tráfico sea en ambos sentidos se contrarrestan los arrastres.

### Ventilación natural

Ventilación para la cual no se requieren medios mecánicos, por contraposición a la ventilación mecánica. Su forma más frecuente en líneas de metro es aprovechar el efecto pistón, haciendo que el empuje arrastre el aire viciado hacia el exterior e inyecte aire fresco a la línea a través de pozos de ventilación.

### Ventilación mecánica

Tipo de ventilación para la cual se requieren equipos mecánicos que transfieren movimiento al aire. Las tipologías son varias, y el dimensionado de los equipos necesarios para la ventilación se realiza atendiendo básicamente a dos factores: caudal de aire fresco necesario y presión para vencer las pérdidas de carga (fricción con las paredes del túnel más las pérdidas debidas a singularidades).

### Velocidad crítica

La ventilación en caso de incendio se dimensionará para una potencia de incendio máxima de acuerdo con el material rodante previsto. El objetivo es que no exista retroceso de los humos ("back layering") respecto al sentido de ventilación de aire para la potencia de incendio prevista. Para ello se requiere una velocidad de ventilación en el túnel que se denomina velocidad crítica.

### Potencia de incendio

Se define así la potencia calorífica que se desprende en el caso de un incendio tipo de un coche. Este es un valor basado generalmente en experimentos en los que se incendian varios vehículos y se obtiene una curva que describe el comportamiento del incendio. Es un valor fundamental en el dimensionado del sistema de ventilación en caso de incendio, ya que el caudal de humos que se genera durante un

incendio está íntimamente ligado a la cantidad de material que arde, y por tanto, a la potencia de incendio. Se propondrá una curva tipo que describe la potencia de incendio frente al tiempo que transcurre desde la ignición. Dicha curva se corresponde a un coche de metro moderno, fabricado con materiales principalmente plásticos, pero con ignición retardada.

### 1.1.3 Normativa aplicable

En caso de no existir reglamentación específica nacional para ventilación en caso de incendios se adoptarán los dictados de la NFPA 130 "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems" relativa a redes ferroviarias.

Serán de aplicación en las estaciones todas las normas nacionales y municipales relativas a ventilación y calidad de aire en espacios de pública concurrencia.

Se citan además, dentro del apartado siguiente correspondiente a criterios de diseño, recomendaciones de instituciones de reconocido prestigio internacional que serán aplicables como apoyo al diseño, sin contravenir en ningún caso la normativa colombiana.

### 1.1.4 Criterios de diseño

Para la definición de los criterios de diseño, en cuanto a mantener una ventilación conveniente, se distinguen dos escenarios: durante la explotación habitual y durante una emergencia por incendio.

#### 1.1.4.1 Explotación normal de la línea

Cuando la línea de metro se encuentra en funcionamiento habitual, se mantendrán las condiciones de confort y la calidad de aire deseadas.

El tránsito de coches en la línea provoca calentamiento debido a las frenadas, principalmente. Se dan otros efectos debidos a la circulación de trenes, como la aparición de partículas en suspensión o las ondas de presión debidas al efecto pistón, que resultan molestas o nocivas, y que deberán considerarse en el diseño del sistema de ventilación.

#### Confort

Los factores que afectan al confort son fundamentalmente la temperatura, humedad del aire, velocidad del aire e indumentaria de los viajeros.

Los límites de temperatura a mantener en el interior de las estaciones no son muy exigentes, ya que se trata de un espacio en el que el tiempo medio en que se encuentran los viajeros no se prolonga en exceso. El criterio general en cuanto a confort en las estaciones es mantener unas condiciones intermedias entre las del espacio exterior y el interior de los coches, de manera que sirva de transición entre ambos espacios. La indumentaria es un factor implícito en este criterio, ya que estará relacionada con la temperatura en el exterior de la estación.

Las corrientes de aire pueden causar disconfort local, por lo que debe controlarse que el aire no circule por espacios ocupados a más de 5 m/s, para evitar dichas molestias. En el caso de emergencias, el valor máximo de velocidad de aire que se recomienda no superar asciende a 11 m/s.

Igualmente, las repentinas ondas de presión debidas al efecto pistón de los trenes pueden provocar malestar en los viajeros que se encuentren esperando en las estaciones. Se debe controlar, por tanto, que dichas ondas no provoquen malestar en los viajeros situados en las estaciones. Esto se consigue mediante la independización túnel – andenes que se logra con el uso de mamparas en los andenes.

El control de la humedad mediante la ventilación se limita a la variación de la humedad relativa con la temperatura.

Cuando se realice la selección de equipos mecánicos para ventilación se atenderá al ruido que estos equipos emiten, bien hacia las instalaciones del metro bien hacia el exterior. Se instalarán, si fuera necesario, silenciadores que aminoren la molestia de los viajeros o los vecinos que pudieran ser afectados.

### **Calidad de aire interior**

La calidad del aire en la red de metro estará condicionada por múltiples factores que deben ser considerados para el correcto diseño del sistema de ventilación. La inclusión de aire desde el exterior es necesaria para diluir contaminantes generados en el interior como el CO, el exceso de humedad y calor, partículas y olores, u otros agentes patógenos o molestos. Para dicha inclusión de aire al interior deben instalarse los pozos de ventilación o soluciones que vayan a proporcionar la entrada del aire en ubicaciones no expuestas a alta contaminación.

#### **1.1.4.2 Emergencia en caso de incendio**

La ventilación de la línea de metro debe ser dimensionada de manera que sea capaz de garantizar el confort y la calidad de aire en el interior, tal como se ha indicado. Sin embargo, es generalmente la situación de emergencia por incendio la que condiciona el dimensionado de los equipos que constituyen el sistema de ventilación, por ser los caudales de aire que se deben trasegar en dicho evento muy superiores a los que se dan durante la operación normal de la línea.

Cuando se declare un incendio en un coche situado en el túnel, se definirá una pauta de actuación que dependerá de la tipología de túnel y de la magnitud del incendio, y se procederá a la evacuación del coche de la manera que se considere más adecuada. La pauta de evacuación puede ser llevar el coche hasta la estación más próxima o bien evacuar a los viajeros en el túnel, en función del escenario de incendio. En cualquier caso, el sistema de ventilación debe ser tal que permita mantener las condiciones necesarias para la evacuación de los viajeros, y facilitar la intervención de los equipos de bomberos y otros medios de rescate.

Para túneles de gran longitud la ventilación mecánica será necesaria para garantizar la seguridad en caso de incendio. Las concentraciones de contaminantes admisibles ante un eventual incendio son mayores que las de diseño para la operación normal, ya que los tiempos de exposición son mucho menores, y se trata de una situación excepcional.

En el caso de incendio en túnel el medio más sencillo para la evacuación es arrastre de los humos, que consiste en provocar una corriente de aire a lo largo del túnel que impida el retroceso de los humos, proporcionando un espacio limpio de humos.

La fiabilidad del sistema de ventilación es otro de los criterios a considerar para la selección del sistema, siendo necesaria la fiabilidad de los ventiladores y de los equipos auxiliares y sistemas de regulación. Otro condicionante a considerar es el económico, englobando en éste la inversión inicial y los costes de mantenimiento y explotación.

## **1.2 Descripción del concepto de Sistema de Ventilación para la línea de Metro**

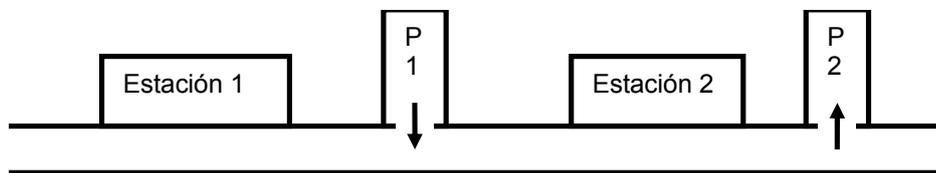
La línea de metro, tal como se ha descrito está compuesta por tramos de túnel y estaciones subterráneas, además de las zonas de trazado en superficie, que a efectos de ventilación no son relevantes.

Teniendo en cuenta el trazado lineal, sin existencia de mallas o redes de túneles, es decir sin existencia de cruces, se resuelve la ventilación del conjunto independizando el tramo de túnel entre estaciones de las estaciones. Esto se logra mediante el uso de pantallas en los andenes, que crean una zona de estación independiente de la zona de túnel contigua, simplificando el concepto de ventilación de la estación al independizarlo del túnel. Igualmente, se simplifica el concepto de ventilación del túnel en caso de ventilación sanitaria, al obviarse el efecto de las estaciones.

La ventilación propuesta es mediante pozos de ventilación por lo ajustado de las secciones de túnel, donde no se pueden implantar ventiladores de tipo jet. En caso en que estas secciones se revisarán, habrá de estudiarse la posibilidad de una instalación de tipo longitudinal con ventiladores de chorro.

Se construirá un pozo de ventilación entre cada par de estaciones, estando equipado éste con equipos mecánicos que proporcionan los caudales suficientes. Existirá, por medio de compuertas mecanizadas, un by-pass de los equipos mecánicos para favorecer cuando sea posible la ventilación natural inducida por el efecto pistón.

El esquema de ventilación de un tramo de túnel tipo se ve en la figura siguiente, donde, de manera esquemática se presentan dos pozos de ventilación P1 y P2, entrando aire al túnel a través del pozo P1, y saliendo el aire viciado a través de P2. Resulta, por tanto, una ventilación lineal proporcionada por pozos de ventilación cuyo funcionamiento será reversible, es decir, operarán en ocasiones como pozos de extracción, y en otras como impulsión.



Para la ventilación de emergencia, sin embargo, no se garantiza la estanqueidad del túnel frente a las estaciones, ya que el cerramiento de vidrio propuesto no resulta garantía suficiente para el trasiego de humos calientes a su lado.

A continuación se describe de manera más detallada la solución tanto para la estación tipo como el pozo tipo. Se comentarán posibilidades de alternativas a la tipología propuesta en casos concretos como pueden ser bocas de túnel, por ejemplo.

### 1.3 Ventilación del túnel

#### 1.3.1 Dimensionado de la ventilación del túnel

Tal como se describía anteriormente, se dispondrán pozos de ventilación ubicados entre estaciones, típicamente un pozo de ventilación entre cada dos estaciones subterráneas.

Cuando la ventilación natural no es suficiente, como es el caso que nos ocupa, para mantener las condiciones de diseño, se requiere de la ventilación mecánica que la complementa:



Durante la explotación normal: eliminando el calor excedente del sistema, restableciendo el poder de sumidero térmico del terreno durante las horas de no explotación de la línea, e introduciendo aire fresco desde el exterior que mejore la calidad del aire interior. Se estima que con 4 renovaciones horarias se obtienen estos efectos beneficiosos de manera sobrada.

Un caso particular en el que se debe mantener las condiciones adecuadas en el túnel,

Durante la emergencia en caso de incendio: eliminando el humo producido durante el incendio y aportando aire fresco que permitirá una evacuación e intervención seguras. El criterio, en este caso, será igualar la velocidad crítica en el caso de incendio de diseño.

La situación más exigente de las dos expresadas será la que dimensione el sistema de ventilación en el túnel. Se realizará el cálculo para las dos secciones tipo de túnel, la obtenida con tuneladora y la sección tipo entre pantallas, y para la renovación o ventilación de emergencia.

### 1.3.1.1 Ventilación sanitaria

**1.3.1.2 La ventilación sanitaria en el túnel, tal como se ha descrito, se dará con 4 renovaciones por hora del aire del tramo de túnel. El volumen de aire a renovar es igual a:**

Volumen = Área x Longitud

Se realiza el cálculo de manera simplificada para la longitud mayor entre estaciones, que aproximadamente se corresponderá a la longitud mayor entre pozos. Siendo este tramo de 1400 m y la superficie del túnel escavado con tuneladora de 60 m<sup>2</sup>, se tiene:

$$V = 60 \text{ m}^2 \times 1400 \text{ m} = 84\,000 \text{ m}^3$$

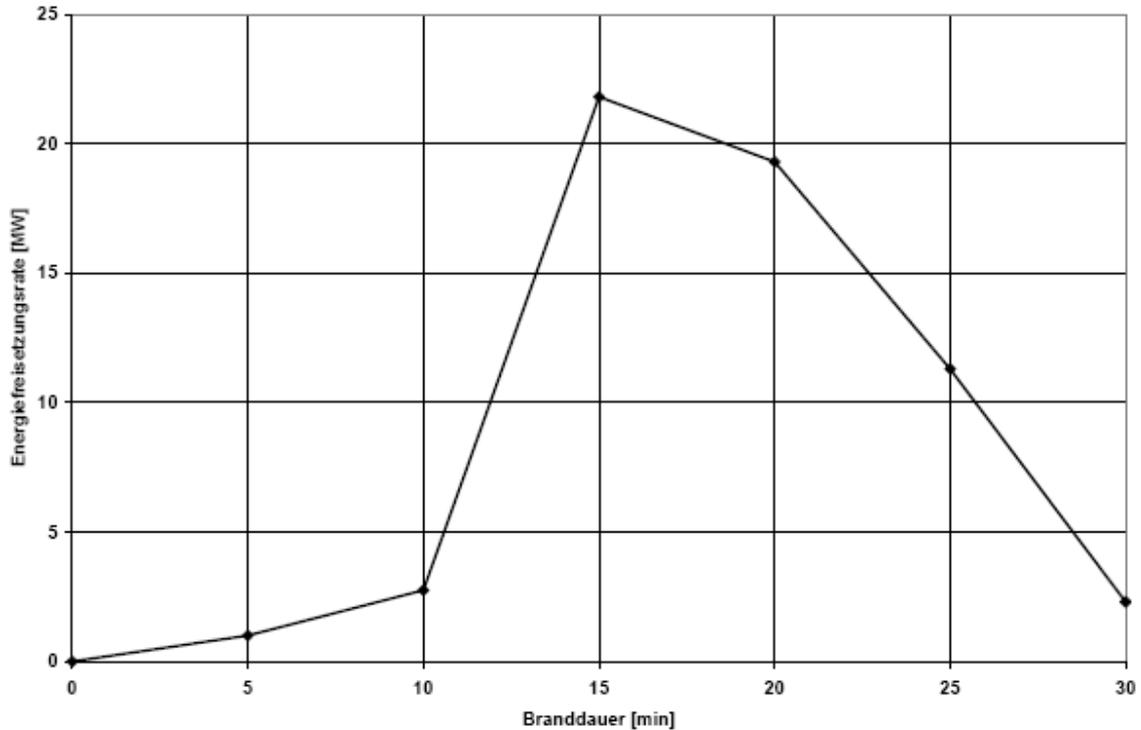
Con 4 renovaciones / hora el caudal resultante en el túnel es

$$336\,000 \text{ m}^3 / \text{h} = 93,3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

### 1.3.1.3 Ventilación de emergencia

La ventilación de emergencia se calculará para un incendio no provocado, considerando que la flota de trenes es de nueva construcción, cuya fabricación incluye retardantes para la combustión. Se proporcionará en el túnel una velocidad de aire al menos igual a la velocidad crítica para el supuesto descrito, que se corresponde con un valor de potencia de incendio de 22 MW.

Este valor máximo de 22 MW se basa en unos ensayos realizados a finales de 2006, bajo la suposición de un incendio intencionado sin llegar a ser un atentado terrorista. La evolución de la curva de fuego es la que se espera para un material móvil acorde a las especificaciones de la norma DIN EN 45545, que especifica los materiales para la construcción de unidades ferroviarias en la UE. Los materiales tienen una carga de fuego importante, pero su ignición es retardada, lo que se traduce en una curva de crecimiento moderado, como se observa en la figura anterior, alcanzándose el máximo de 22 MW al cabo de 15 minutos.



Curva correspondiente al Metro de Munich. Estudio Dr. A. Haack.

Partiendo de esta curva de incendio, las condiciones geométricas del túnel, como son altura, superficie y pendiente, las condiciones de presión de la ciudad de Bogotá (hecho no despreciable, ya que la elevada altitud afecta a presión, y por tanto, a la densidad de los gases de un modo sensible), se realiza el cálculo de la velocidad crítica.

La formulación empleada es la propuesta por Kennedy (recogida entre otros, en Subway Environmental System), contrastada con la propuesta por Oka et Atkinson.

Para la sección rectangular, se obtiene:

$$V_c (\text{Kennedy}) = 2.64 \text{ m/s}$$

$$V_c (\text{Oka}) = 2.79 \text{ m/s}$$

Con lo que resulta un caudal en túnel de **151 m³/s**

Para la sección circular, se obtiene:

$$V_c (\text{Kennedy}) = 2.66 \text{ m/s}$$

$$V_c (\text{Oka}) = 2.9 \text{ m/s}$$

Con lo que resulta un caudal en túnel de **174 m³/s**

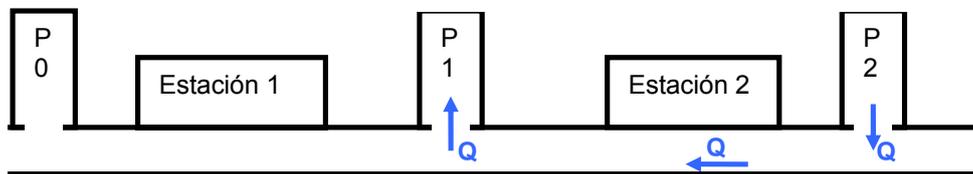
Por tanto, de entre el caudal sanitario y de emergencia, el caudal en las condiciones más exigentes a lograr en el túnel es de **174 m<sup>3</sup>/s**, que resulta de la velocidad crítica en las condiciones más cuantiosas.

Este es un cálculo preliminar en el que no se ha tenido en cuenta la explotación de la línea para considerar el efecto de tránsito de vehículos, por ejemplo. Un cálculo más complejo, previendo estos efectos así como las pérdidas por fricción en el túnel conocida la geometría en detalle se deberá realizar en etapas posteriores del proyecto.

Así mismo, si bien se ha propuesto un escenario de incendio en túnel con una potencia máxima de 22 MW, deberá revisarse esta hipótesis una vez conocidas las particularidades del material rodante que será empleado en la línea de metro.

### 1.3.2 Pozo de ventilación tipo

Para lograr el caudal en el túnel se requiere en el pozo interestación un caudal, que aproximadamente será el mismo, si se opera adecuadamente. Se observa en la siguiente figura, como para obtener un caudal  $Q$  en el espacio entre pozos 1 y 2, impulsamos aire desde P2 y se extrae por P1, induciendo el caudal deseado en el túnel. Esto, es un modo simplificado de ver la operación de parte de la línea y en realidad habría que ver cómo afecta el resto de ésta, por ejemplo P0 a este funcionamiento. Una vez se defina la operación de la línea se calcularán estos efectos del resto de la línea sobre el funcionamiento de un tramo concreto.



#### Ventiladores

Por lo expresado, el pozo de ventilación tipo, deberá proporcionar un caudal de 174 m<sup>3</sup>/s, que se obtendrá con una pareja de ventiladores axiales que proporcionen la mitad de este caudal, es decir 87 m<sup>3</sup>/s cada uno de ellos.

Los ventiladores serán resistentes a la acción del fuego, típicamente 400 °C / 2 horas, 100 % reversibles para una operación del pozo en impulsión o extracción según el escenario de ventilación.

Los ventiladores irán montados sobre bancada de hormigón o directamente sobre la losa si fuera posible, con soportes anti-vibratorios, y dotados de sensor de vibraciones con registro de datos para facilitar las labores de mantenimiento.

El arranque y regulación del ventilador se realizará mediante variador de frecuencia, lo que proporcionará sensibilidad y precisión para operar a caudales inferiores al máximo. Los ventiladores irán provistos de un damper o compuerta propio, además de los instalados en los pozos.

## Compuertas

El pozo de ventilación irá provisto de compuertas mecanizadas (dampers) para posibilitar el by-pass de los equipos mecánicos, aprovechando así el efecto pistón. Las compuertas serán resistentes a fuego (típicamente 400°C / 2 horas), con motores de accionamiento encapsulados que soporten la acción de los humos, pudiendo así encontrarse en un ambiente a alta temperatura.

Los dámpers garantizarán un alto grado de estanquidad, con caudales de fuga a su través inferiores a 0,1 m<sup>3</sup>/s por m<sup>2</sup> bajo una presión de 1.000 Pa. Las dimensiones y ubicación concreta de las compuertas se especificarán en los planos constructivos de los pozos.

## Silenciosos

Entre los equipos mecánicos instalados en la parte baja del pozo de ventilación y la rejilla instalada en el exterior, existirán silenciosos que absorban el ruido hasta niveles admisibles, en función de la zona en la que se encuentre el pozo de ventilación. Estos silenciosos, contienen un material tipo fibra, que deberá ser cubierto con una chapa metálica perforada para evitar que la acción de los humos calientes reduzcan la sección de paso de fluido a su través.

Para el dimensionado de los silenciadores se requerirá a los fabricantes de los equipos mecánicos las curvas de generación de ruido de los ventiladores, como espectro por bandas u octavas de frecuencia de ruido.

Se estudiará la necesidad de implantación de silencios entre los equipos de ventilación y las estaciones, aunque se presume que no serán necesarios, debido a la distancia entre pozos de ventilación y estaciones, y el hecho de que éstas se aíslen mediante pantallas vidriadas.

### 1.3.3 Equipamiento de túnel para ventilación

Dentro del grupo de elementos complementarios de vigilancia y supervisión se encuentra el detector que realiza la medida del flujo de aire en túnel: el Detector de Flujo de Aire (DFA). Se menciona en este punto este sistema por no tratarse de un sistema de detección para incendios, siendo un equipamiento de control de la ventilación.

El sistema de detección DFA se instala para determinar el sentido y la intensidad del flujo de aire en el túnel. En el caso de accidentes o incendio en el interior del túnel, estos detectores se utilizan para dirigir a los equipos de rescate en la dirección en la que fluye el aire fresco hacia el interior del túnel. El DFA generará dos tipos de información: velocidad del flujo de aire y dirección (sentido) del mismo.

La solución tecnológica puede ser diversa, como tecnología ultrasónica, anemómetros de hélice, de hilo caliente, etc. Se empleará un sistema robusto que soporte su instalación a la intemperie, y no precise excesivo mantenimiento.

Los DFA se ubican en cada uno de los tramos de túnel entre estación y pozo de ventilación, observando que en los 50 metros contiguos en ambos sentidos no existan singularidades en la sección del túnel. No obstante, el suministrador deberá indicar de forma más precisa, y de acuerdo con experiencias en líneas de metro u otros medios de transporte, la ubicación de sus equipos basándose en criterios que permitan la optimización de la instalación.

### 1.3.4 Ubicación Preliminar propuesta para los pozos de ventilación

Se propone la siguiente ubicación de pozos de ventilación con relación a las estaciones. Los pozos están numerados con romanos desde el primero I hasta el vigésimo XX. Existen además, otros dos posibles

pozos i, vii, que pueden ser remplazados por ventiladores de chorros en el tramo de túnel que sale a superficie.

Tabla 1-1. Propuesta preliminar de ubicación de pozos de ventilación de la PLM

N°	Pk inicio	Nombre	Tipología	Interdistancia	Tipo andén
1	0+160				
i					
2	0+980	PORTAL AMÉRICAS	Terminal / intercambio con TM y futura línea morada	820	Doble
I	1+450				
3	1+745	CASABLANCA	de paso	765	Doble
II	2+300				
4	2+502	VILLAVICENCIO	de paso	757	Doble
III	3+100				
5	3+360	PALENQUE	de paso	858	Doble
IV	3+850				
6	4+190	KENNEDY	de paso	830	Doble
V	4+700				
7	5+249	BOYACÁ	paso (intercambio futura línea azul)	1059	Doble
VI	5+700				
8	5+975	1° DE MAYO	de paso	726	Doble
VII	6+450				
9	6+700	AV. 68	de paso	725	Doble
vii					
10	8+100	RIO FUCHA	de paso	1400	Doble
12	9+510	AC.6	de paso	1410	Doble
13	10+620	AC.13	intercambio con TM	1110	Doble
14	12+010	NQS	Especial / intercambio con FFCC y TM	1390	Doble
15	12+675	AC.22 PALOQUEMAO	de paso	665	Doble
16	13+875	LA SABANA	Especial / intercambio con TM y FFCC	1200	Doble
VIII	14+900				
17	15+306	SAN VICTORINO	Especial / intercambio con TM (2 troncales)	1431	Doble
IX	15+800				
18	15+982	AC.19 AV. LIMA	de paso	676	Doble
X	16+500				
19	16+750	LA REBECA	Especial / intercambio con TM	768	Doble
XI	17+300				
20	17+683	AC.34 PARQUE NACIONAL	de paso	933	Doble
XII	18+300				
21	18+613	AC.42 GRAN COLOMBIA	de paso	1047	Doble
XIII	19+100				
22	19+388	MARLY	de paso	775	Doble
XIV	19+400				
23	20+163	SANTO TOMÁS	de paso	658	Doble
XV	20+834				
24	21+164	PLAZA DE LOURDES	de paso (especial)	1001	Doble
XVI	21+600				
25	22+129	AV. 72 CHILE	de paso	965	Doble
XVII	22+700				
27	23+204	CALLE 85	de paso	1075	Doble
XVIII	23+700				
28	24+199	PARQUE 93	de paso	995	Doble
XIX	24+700				
29	25+038	CALLE 100	de paso	839	Doble
XX	25+800				
30	26+434	USAQUÉN	de paso	1396	Central
31	28+124	CALLE 127	Terminal / intercambio con FFCC y futura línea azul	1690	Central

Fuente: Elaboración propia

## 1.4 Ventilación de la Estación Tipo

### 1.4.1 Recomendaciones recogidas en la NFPA 130

El anejo B de la NFPA 130, en su edición de 2010, referido a ventilación no es un requerimiento sino que pretende ofrecer una guía para la compatibilidad entre el sistema ventilación normal y la ventilación de emergencia. Aquí se recogen algunos de los puntos expresados en esta norma, que servirán como guía de apoyo a la buena ingeniería en el diseño y explotación.

Los mismos equipos podrán servir para el doble propósito de ventilación sanitaria y de emergencia, cuando sea posible. Además de ventilación de emergencia en caso de incendio, se podrán emplear los sistemas de ventilación ante eventualidades como ataques que impliquen aerosoles (bacterias o gases tóxicos).

Cuando se produce un incendio las condiciones ambientales que se deben mantener son lógicamente menos restrictivas que las que han de mantenerse para la ventilación sanitaria. Se describen a continuación las condiciones ambientales admisibles para la evacuación en caso de incendio.

**Calor:** La exposición al calor afecta básicamente de tres modos:

- **Hipertermia.** La exposición al calor debido a convección puede tratarse mediante una fórmula semejante a la exposición a sustancias tóxicas. Se define así la FED (Fraction Equivalent Dose), que considerará la temperatura a la que está expuesto el sujeto y la indumentaria que lleva. Se estima que la piel desnuda puede soportar aproximadamente 120°C de temperatura del gas contiguo (transmisión de calor por convección) sin perjuicio durante varios minutos.
- **Quemaduras de la piel:** Aproximadamente se tolera una exposición a la radiación de 2.5 Kw/m<sup>2</sup> durante 30 minutos sin afectar a la capacidad de evacuación.
- **Quemaduras de vías respiratorias:** Como norma general, la piel es más sensible que las vías respiratorias, salvo para contenidos muy elevados de humedad, por ejemplo la inhalación de aire saturado de vapor a 60 °C puede provocar quemaduras.

Se define una función FED que considera de modo conjunto los efectos de calor convectivo sumados a los efectos provocados por la radiación.

**Contenido de monóxido de carbono:** Límites para el contenido en CO del aire, expresado en partes por millón.

Concentración de CO	Tiempo de Exposición máximo
2.000 ppm, valor pico	Segundos
1.150 ppm	6 minutos
450 ppm	15 minutos
225 ppm	30 minutos
50 ppm	

Estos valores se deben ajustar para altitudes por encima de los 1.000 metros, luego serán revisados para la ciudad de Bogotá.

**Nivel de obscurecimiento:** Deben mantenerse niveles de obscurecimiento inferiores a los que se dan para que se pueda discernir una señal internamente iluminada con 80 lx a una distancia de 30 m, y que las paredes y puertas se distingan a 10 m de distancia.

**Velocidad de aire y nivel de ruido durante la emergencia:** En caso de emergencia no debe superarse los 11 m/s en la velocidad de aire. El ruido percibido debido a los equipos mecánicos puede tener un máximo de hasta 115 dBA por unos pocos segundos y un máximo mantenido de 92 dBA.

Para valores en condiciones normales de operación véanse recomendaciones para el confort en publicaciones de AHSRAE y similares.

**Consideraciones Geométricas:** Para la evacuación se requiere una altura libre de humos de dos metros. A efectos de cálculo, cuando debido a que los métodos de modelado no son exactos, se considera un 25% adicional, resultando en 2,5 metros la altura a respetar según cálculo.

Los criterios admisibles no son de aplicación en las inmediaciones del foco de incendio, por tanto se aplican más allá de un perímetro alrededor del fuego, que puede ser de hasta 30 metros.

Aunque cambien las tipologías de estación, los criterios a mantener en éstas son los mismos. Se deben considerar, asimismo, los condicionantes temporales, como son el tiempo para la ignición y desarrollo de incendio, de evacuación, de intervención, etc.

#### 1.4.2 Concepción de la ventilación en la estación tipo

La temperatura en las estaciones puede controlarse mediante ventilación por medio de inyectar aire del exterior en climas templados, o bien requerir climatización (refrigeración y calefacción) en climas extremos. Para la ciudad de Bogotá no será necesario climatizar las zonas de andenes y accesos, siendo suficiente la ventilación para refrigerar la estación y mantenimiento de la calidad de aire interior.

La inclusión de pantallas en andenes facilita mantener las condiciones de confort en las estaciones y puede ser eficaz para el control de humos en incendios declarados en el túnel.

La Extracción Bajo Andén (EBA) se considerará como método para extraer el calor que se desprende durante la frenada de los coches. No se considera la extracción bajo andén debido a que la estación está aislada del túnel y que la rodadura se prevé con contacto metal – metal, es decir raíl sobre vía en lugar de rodadura neumática. La rodadura neumática implica una mayor generación de partículas que podría sugerir la necesidad de este tipo de ventilación semi-transversal.

La ventilación de instalaciones auxiliares deberá ser acorde a las exigencias de los equipos más sensibles y permitir a los encargados del mantenimiento realizar sus trabajos de manera segura y salubre. No es objeto de este punto el estudio detallado de la ventilación o climatización requerida por las instalaciones o los comercios que se encuentren en la zona de estación.

Una representación esquemática de los distintos espacios de la estación tipo sirve para ilustrar los diferentes usos que coexisten en la zona de la estación, cada uno de ellos con unas necesidades

específicas de ventilación o climatización. Como se explicaba anteriormente, el túnel y la estación están concebidos como espacios diferenciados para ventilación.



En la estación se tiene de una zona de vestíbulos y accesos hasta las mezaninas y andenes, que constituye una zona a ventilar. Esta zona se ventilará para lograr que las condiciones de los ocupantes en ella sea intermedia a las condiciones que se dan en los coches y el exterior, funcionando así como “zona de acomodación” para los viajeros entre un espacio y el otro.

El aparcamiento tiene unos condicionantes específicos de ventilación, ya que se debe diluir el CO de los vehículos para mantener los contaminantes en concentraciones admisibles.

Cada una de las salas de instalaciones tiene unas condiciones particulares, cuyo análisis es objeto de una fase más avanzada del proyecto.

A continuación se expresan las necesidades de ventilación sanitaria y de emergencia para la zona de parking y la zona de andenes.

En el caso de ventilación de emergencia en andenes, se producirá la extracción de humos a través de las rejillas repartidas en la zona alta para favorecer la evacuación de los ocupantes hacia el espacio exterior seguro. La extracción en la zona afectada por los humos crea una depresión relativa de esta zona respecto de las contiguas que propicia la entrada del aire fresco, a través de distintas aperturas, principalmente las vías de evacuación.

En el caso de ventilación sanitaria, se propone también una extracción con el mismo sistema, pero a caudal inferior al de emergencia, para evitar ruidos en rejillas y que las conducciones sufran innecesariamente las condiciones de caudal máximo a las que se tendrán que exponer en caso de incendio. Podrá estudiarse, si para efectos de dilución de contaminantes resulta más adecuada la dilución mediante impulsión de aire desde el exterior, sin embargo, para la ventilación de emergencia la pauta siempre debe ser extraer los humos.



La actuación de la ventilación de emergencia en los andenes se producirá en principio cuando se detecte la detección de un incendio en la zona de la estación mediante los detectores ubicados en ésta.

De forma complementaria, se podrá dar una alarma de incendios en andenes mediante la detección de CO. En cualquier caso, la detección de CO indicará el momento de accionamiento y parada de la ventilación sanitaria.

Para el monóxido de carbono se proponen los siguientes umbrales de preaviso y Aviso para ventilación sanitaria, y prealarma y alarma de detección de incendios. El explotador de las instalaciones podrá proponer otros valores que considere más adecuados.

	Concentración CO	Significado	Acción de ventilación
Umbral 1	35 ppm	Pre- Aviso Ventilación sanitaria	Parada Ventilación sanitaria
Umbral 2	45 ppm	Aviso Ventilación sanitaria	Arranque Ventilación sanitaria
Umbral 3	150 ppm	Pre-Alarma Incendio	
Umbral 4	250 ppm	Alarma Incendio	Ventilación Emergencia

Por tanto, si se superan 45 ppm de CO en los andenes se arranca la ventilación sanitaria, y una vez se baje de 35 ppm se parará la ventilación.

Si se diera un error en el sistema de detección de incendio y se superase el umbral 4 se procederá a la ventilación de emergencia, cuando se alcanzan 250 ppm de CO.

### 1.4.3 Caudal de ventilación necesario

El sistema de ventilación de la estación tendrá la doble utilidad de ventilación sanitaria y de emergencia, por lo que se dimensionará para el más cuantioso de los caudales entre estas dos hipótesis. Se procederá a estimar ambos caudales y realizar la discusión de los resultados.

#### Ventilación sanitaria

El caudal de ventilación sanitaria de la estación tipo se puede estimar como un número de renovaciones horarias del aire de la estación, o bien en función de la demanda teniendo en cuenta la ocupación de la estación en hora punta. Los valores que se presentan a continuación son estimaciones que deberán ser ajustados para cada una de las estaciones cuando se conozca de modo más preciso la geometría de la estación y las cargas de pasajeros en hora punta para cada una de ellas.

El volumen de la estación tipo está en torno a 54.000 m<sup>3</sup>, por lo que, si se realizan 4 renovaciones horarias se requieren 216.000 m<sup>3</sup>/h, lo que es lo mismo que 60 m<sup>3</sup>/s.

Si en lugar de atender a un número de renovaciones se atiende a la ocupación máxima esperada en hora punta en la estación más ocupada, ésta será de alrededor de 1.800 personas, con tiempos de espera de 5 minutos. Tomando como regla de cálculo para obtener una calidad de aire interior IDA 2 según el RITE, 12 l/s por persona, se requerirán 21,6 m<sup>3</sup>/s, caudal 3 veces inferior al expresado según las renovaciones horarias.

### Ventilación de emergencia

El dimensionado de la extracción mecánica para el caso de emergencia por incendio está condicionado por el escenario de incendio que se considere en la estación.

Se define un escenario en el que el incendio tiene las dimensiones que se expresan a continuación, de 12 m<sup>2</sup>, y 4.8 MW de potencia de incendio, considerando la altura libre por encima de la zona de andenes, las particularidades de presión a la altitud de Bogotá. Con este escenario de incendio se necesitará un caudal de casi 63 m<sup>3</sup>/s para la altura libre de humos de 5,5 metros.

hc (m)	Altura media de extracción	Mf (Kg/s)	
15		38,80	
Y (m)	Altura libre de humos	Qf (KW)	Flujo calor convectivo
5,5		4800	
Wf (m)	Perímetro de hogar	TC (K)	tc (°C) temp gas en capa humos
16		411,71	138,71
Af (m <sup>2</sup> )	Área del hogar	V (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total de humos extraído del cantón
12		62,73	225825 m <sup>3</sup> /h
3			
qf (KW/m <sup>2</sup> )	potencia calorífica/superficie	V cr (m <sup>3</sup> /s)	Caudal crítico (por un solo punto de extracción)
500		798,88	
to (°C)	temp aire ambiente interior		
15			
rho o (Kg/m <sup>3</sup> )			
0,884			

Podrían darse escenarios más críticos, como podría ser el incendio con la potencia máxima de un coche, para lo que el cálculo exige una extracción superior a 200 m<sup>3</sup>/s. Sin embargo, esta es una situación demasiado conservadora, en primer lugar por lo improbable, y en segunda instancia debido a que el momento para el que se alcanzaría esta potencia máxima, que son 15 minutos, para cuando la zona de andenes deberá estar libre de ocupantes.

Por todo lo expresado, se considera que **65 m<sup>3</sup>/s** es una buena aproximación al caudal que se requerirá para la ventilación de la estación tipo, si bien se ajustará este número para cada una de las estaciones cuando se conozcan datos particulares. Dicha extracción se realizará en la parte alta y central sobre andenes, en el hueco que se forma entre los espacios destinados para instalaciones. Desde el punto de vista de implantación resultará más fácil porque se encuentra anejo a las salas donde se ubicarán los equipos de ventilación, al tiempo que desde el punto de vista de ventilación se propician corrientes ascendentes que eliminan el exceso de calor en situación de explotación normal y conducen los humos en caso de incendio.

En este caudal no se incluyen las exigencias del sistema de ventilación del parking, que se exponen a continuación. El sistema de ventilación del aparcamiento será independiente del resto de zonas de la

estación. Para la zona de parking, el incendio previsible será el correspondiente a un coche, y en tal caso la capacidad de extracción del sistema de ventilación será, como se observa a continuación 20 m<sup>3</sup>/s, que es inferior al necesario por exigencias de control de monóxido de Carbono en el aparcamiento.

hc (m)	Altura media de extracción	Mf (Kg/s)	
3,5		6,38	
Y (m)	Altura libre de humos	Qf (KW)	Flujo calor convectivo
2		3200	
Wf (m)	Perímetro de hogar		
12			
Af (m <sup>2</sup> )	Area del hogar	TC (K)	tc (°C) temp gas en capa humos
10		789,49	516,49
qf (KW/m <sup>2</sup> )	potencia calorifica/superficie	V (m <sup>3</sup> /s)	Caudal total de humos extraido del cantón
400		19,78	71218 m <sup>3</sup> /h
to (°C)	temp aire ambiente interior	V cr (m <sup>3</sup> /s)	Caudal crítico (por un solo punto de extracción)
15		8,31	
rho o (Kg/m <sup>3</sup> )	2640 msnm - Bogotá		
0,884			
g (m/s <sup>2</sup> )			
9,81			
db (m)			
1,5			

En resumen, tanto para la zona de aparcamiento como para el resto de la estación es la situación de emergencia la que define las exigencias de caudal de extracción máximas. Para el aparcamiento se requerirá un caudal de 20 m<sup>3</sup>/s y en el caso del resto de la estación será 65 m<sup>3</sup>/s.

Los ventiladores y el equipamiento y conductos que se empleen deberán ser resistentes a las altas temperaturas.

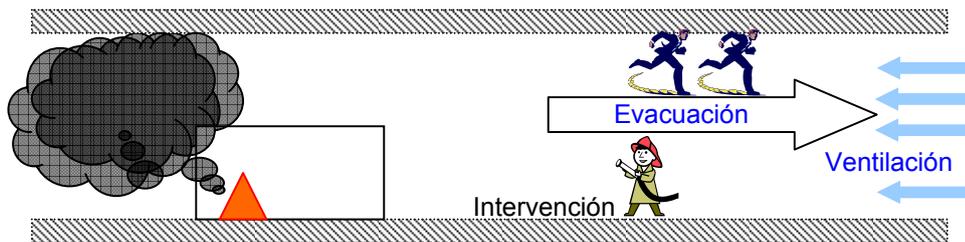
## 2 EVACUACIÓN

### 2.1 Evacuación del túnel

Los medios de evacuación del túnel se dimensionarán de forma que satisfagan al menos las exigencias de la norma NFPA 130. Así, se tendrán las dimensiones mínimas de pasillos de evacuación, puertas, escaleras, etc, y los máximos recorridos.

La evacuación está en muchas ocasiones condicionada por la pauta de ventilación que se emplee, o mejor dicho, las pautas de los sistemas de ventilación facilitarán la evacuación del túnel.

La imagen resume la filosofía de ventilación ante un incendio declarado en un túnel, para facilitar tanto la evacuación de los ocupantes como la intervención de equipos de rescate. Se provocará que el aire limpio de humos provenga de las vías de evacuación, y que el humo se extraiga por el lado opuesto. El modo en que se obtiene la corriente de aire en una dirección determinada puede ser variado: por la acción de un pozo de ventilación, la acción de ventiladores tipo jet, una combinación de ambas opciones, etc.



Durante la fase de diseño se pretende satisfacer los requisitos básicos:

- Posibilidad de control tras el accidente.
- Posibilitar el auto rescate
- Posibilitar el rescate asistido y la intervención para extinción

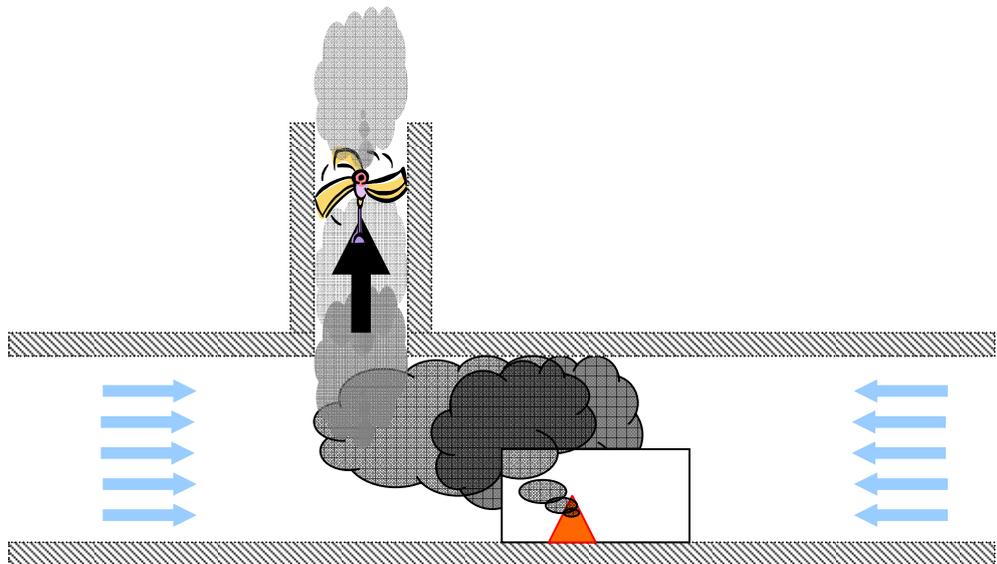
En una fase más avanzada del proyecto deberán definirse los escenarios concretos y las acciones que se llevarán a cabo para dichos escenarios. En este momento, se definen las pautas generales para la posterior definición de escenarios particulares.

Deberá establecerse un criterio de velocidad mínima y máxima de ventilación según sea la fase de evacuación o de intervención. Si bien se ha establecido la filosofía de un modo general, deberá establecerse para cada tramo de túnel el procedimiento de operación, que puede ser opuesto al general por particularidades de la línea en un tramo determinado. Previo a la explotación de la línea, se establecerá un procedimiento de emergencias que considerará los factores a tener en cuenta durante la fase de explotación para determinar las diferentes acciones en función de los mismos. Los servicios de intervención y rescate juegan un papel primordial en este punto, y deberán acordarse las acciones con éstos.

En caso de un túnel con doble vía no existe posibilidad de plantear la evacuación hacia un tubo contiguo, por lo que se dispondrán pasillos de evacuación en ambos hastiales de túnel que permitirán que los usuarios alcancen las salidas a superficie. Conforme a NFPA 130, el intervalo entre dos salidas de túnel tipo monotubo será inferior a 762 metros (2500 ft). Según el tramo de túnel que se trate, pueden darse tres tipos de salida:

- A través de la estación: Cuando se trata de un túnel entre dos estaciones subterráneas con distancia de final de andén desde una hasta la otra inferior a 762 m se tendrá que el túnel se evacua hacia una u otra estación, en función de la posición relativa del pozo de ventilación intermedio, las estaciones y el coche incendiado.
- En este caso el humo se extrae a través del pozo de ventilación inter-estación, para satisfacer la idea general de la ventilación de emergencia de no pasar el humo proveniente del túnel a través de las estaciones.

Si bien las estaciones y túnel están separados a efectos de ventilación, en el caso de ventilación de emergencia, la garantía de sello de las estaciones respecto al túnel implica cerramientos con resistencia a altas temperaturas, con el consiguiente condicionado del diseño de las estaciones.



- A través de la boca de túnel: En aquellos tramos de comienzo del soterramiento se podrá evacuar a los ocupantes a través de la boca del túnel hasta el exterior como alternativa a la evacuación por el extremo de andén.
- A través de núcleos de escalera específicos: En los tramos de túnel de longitud superior a 762 metros entre estaciones o entre estación y boca se dispondrá un núcleo de escaleras para favorecer la evacuación conforme a las distancias máximas expresadas en NFPA.

Se adoptará como criterio general la disposición de escaleras evacuación por un lugar diferente al pozo de ventilación, ya que si bien la obra conjunta resulta más económica, resulta más fiable separar la extracción de humos y la salida de los ocupantes del túnel.

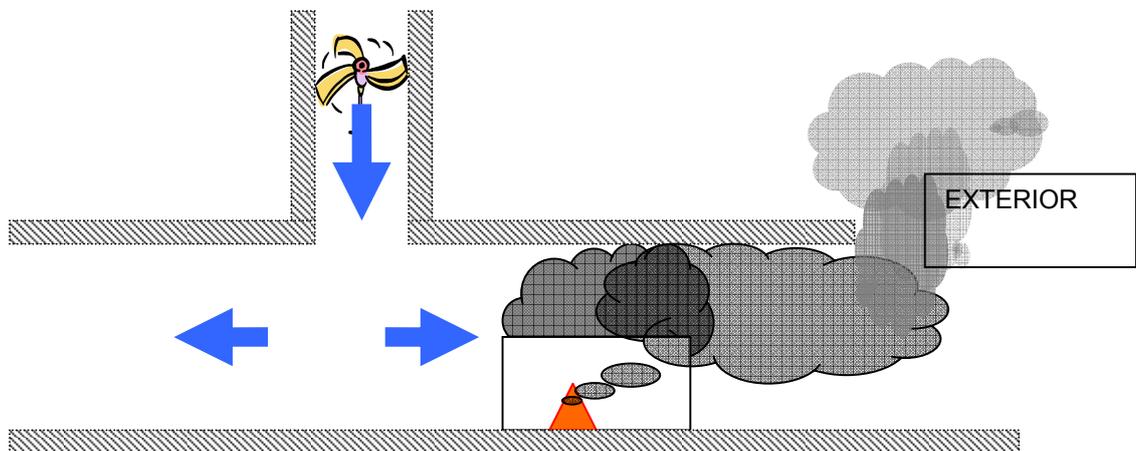
Las dimensiones de las aceras laterales del túnel sobre las cuales se realizarán los movimientos expresados en el interior de túnel, según NFPA 130, serán tales que al menos se disponga de 610 mm libres en suelo, 760 mm libres de obstáculos a cota 1420 mm sobre la acera y 610 mm a 2025 mm sobre la acera.

Asimismo las puertas que se encuentren en el recorrido de evacuación a través del túnel tendrán un ancho libre mínimo de 810 mm.

En general, las escaleras de emergencia y puertas deberán satisfacer lo expresado en NFPA 101.

Dado que las distancias entre estaciones no son mayores de 1500 metros, será suficiente disponer de un único pozo de ventilación entre estaciones así como un único núcleo de escaleras para la evacuación (cuando sea necesario). Como criterio general, que se revisará en función de las necesidades de implantación se tomará que la distancia máxima entre salidas sea la expuesta en la NFPA, y una distancia mínima de 200 metros entre el pozo de extracción y la salida.

Se podrá adoptar la disposición coincidente (pozo de ventilación + Escaleras) cuando en lugar de existir dos estaciones subterráneas a ambos lados del túnel se tiene que uno de los lados está abierto al exterior. En tal caso, en función de la ubicación del incendio se podrá emplear el pozo de ventilación en modo de impulsión de aire, con lo que no resulta perjudicial para la evacuación, ya que se sigue conservando la filosofía original de ventilar en sentido opuesto a la salida de las personas.



De lo expresado anteriormente, se propone la distribución de escaleras de emergencia que se recoge en la tabla siguiente, siendo éstas un total de 7, nombradas de la A a la G.

Tabla 2-1. Propuesta de distribución de escaleras de emergencia

Nº	Pk inicio	Nombre	Tipología
1	0+160		
2	0+980	PORTAL AMÉRICAS	intercambio con TM y futura línea morada
3	1+745	CASABLANCA	de paso
4	2+502	VILLAVICENCIO	de paso
5	3+360	PALENQUE	de paso
6	4+190	KENNEDY	de paso
<b>A</b>	<b>4+900</b>		
7	5+249	BOYACÁ	intercambio futura línea azul
8	5+975	1° DE MAYO	de paso
9	6+700	AV. 68	de paso
10	8+100	RIO FUCHA	de paso
12	9+510	AC.6	de paso
13	10+620	AC.13	intercambio con TM
14	12+010	NQS	intercambio con FFCC
15	12+675	AC.22 PALOQUEMAO	de paso
16	13+875	LA SABANA	intercambio con TM y FFCC
<b>B</b>	<b>14+700</b>		
17	15+306	SAN VICTORINO	intercambio con TM (2 troncales)
18	15+982	AC.19 AV. LIMA	de paso
19	16+750	LA REBECA	intercambio con TM
20	17+683	AC.34 PARQUE NACIONAL	de paso
21	18+613	AC.42 GRAN COLOMBIA	de paso
22	19+388	MARLY	de paso
23	20+163	SANTO TOMÁS	de paso
<b>C</b>	<b>20+643</b>		
24	21+164	PLAZA DE LOURDES	de paso
<b>D</b>	<b>21+800</b>		
25	22+129	AV. 72 CHILE	de paso
<b>E</b>	<b>22+900</b>		
27	23+204	CALLE 85	de paso
<b>F</b>	<b>23+900</b>		
28	24+199	PARQUE 93	de paso
29	25+038	CALLE 100	de paso
<b>G</b>	<b>25+900</b>		
30	26+434	USAQUÉN	de paso
31	28+124	CALLE 127	intercambio con FFCC y futura línea azul

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Evacuación de la estación tipo

Como se ha explicado anteriormente, la evacuación de la estación y la manera en la que se ventila durante su transcurso están íntimamente ligadas.



El dimensionado de los medios de evacuación en la estación se realizará según NFPA 130, cuyo anejo C, presenta un método para el cálculo de la evacuación de estaciones (es un anejo de tipo informativo, no prescriptivo).

De manera resumida, la norma indica los siguientes tiempos de evacuación:

- La evacuación de andén se debe realizar en un tiempo inferior a 4 minutos.
- Desde el punto más remoto de la estación hasta un punto seguro, el tiempo de evacuación debe ser inferior a 6 minutos.

La definición básica a tener en cuenta para la aplicación de la segunda condición esta norma es la de punto de seguridad que viene recogida en la NFPA 101:

*“Punto de seguridad:* Ubicación que

(a) está fuera de un edificio y alejada del mismo;

(b) está dentro de cualquier tipo de construcción, protegido en su totalidad mediante un sistema aprobado de rociadores automáticos y está ya sea

(1) dentro de un cerramiento de salida que cumple con los requisitos de este Código, o bien

(2) dentro de otra porción del edificio que está separada mediante barreras cortahumo de acuerdo con la sección 8.5, con una clasificación de resistencia al fuego no menor a ½ hora, y que esta porción del edificio tiene acceso a un medio de escape o salida que cumple con los requisitos de este Código y que no requiere regresar hacia el área involucrada por el incendio;

(c) está dentro de un edificio de construcción Tipo I, Tipo II (222), Tipo II (111), Tipo III (211), Tipo IV, o Tipo V(111) (ver 8.2.1.2) y está o bien

(1) dentro de un cerramiento de una salida que cumple con los requisitos de este Código o bien

(2) dentro de otra porción del edificio que está separada mediante barreras cortahumo de acuerdo con la sección 8.5, con una clasificación de resistencia a fuego no menor a ½ hora, y que esta porción del edificio tiene acceso a un medio de escape o de salida que cumple con los requisitos de este Código y que no requiere regresar hacia el área involucrada por el incendio.”

Los valores de capacidades de evacuación de los diferentes elementos y de las velocidades de tránsito se toman conforme a lo establecido en la NFPA 130 (2010) en su punto 5.5.6 *Number and Capacity of Means of Egress*.

Para calcular el aforo se definirá la carga de la estación conforme al punto “5.5.5 *Occupant Load*” de la misma NFPA 130 (2010).

En el caso del andén, se define el aforo atendiendo a la carga máxima en hora punta calculando:



- La carga en periodo punta de cada andén deberá basarse en la evacuación simultánea del tren que llega y de la del andén en periodo correspondiente a hora punta.
- La carga entrante en cada andén será la suma de las cargas de tren que cada vía sirve al andén.

El uso de métodos estadísticos para determinar las cargas de tren calculadas y las cargas de entrada calculadas proporcionará una indicación más ajustada de los medios de evacuación requeridos en la estación. Mediante este tipo de métodos se han determinado las cargas de la línea y de cada una de las estaciones que la componen, de modo que se puede realizar un cálculo representativo basado en una estimación a futuro de las cargas de estaciones y trenes.

En el caso de la línea de metro de Bogotá, se han observado los movimientos previstos en hora punta en las estaciones con mayor número de movimientos, con tipología de andenes laterales o andén central.

	Movimientos totales Hora Punta HP	Sentido SW->NE		Sentido NE->SW		Tipología
		Subida	Bajada	Subida	Bajada	Andenes
San Victorino	23595	16498	1252	441	5404	Laterales
Ac 72 Av Chile	13284	523	8284	1959	2518	Laterales
Ac 127	29371	0	11729	17642	0	Central

Se considera, por tanto, la carga de la línea en hora punta, que tiene un máximo, que se utilizará de manera conservadora, en la interestación Marly – Ac 42 Gran Colombia, de 33.236PAX / hora (SW ->NE). Este máximo, teniendo en cuenta una frecuencia de trenes cada 3 minutos, se traduce en una carga máxima de tren de 1662 viajeros.

Con estos datos, se procede a calcular el tiempo de evacuación del andén y de la estación en la situación de mayor aforo. Se presenta, a continuación un resumen de dicho cálculo:

**ESTACIÓN TIPO SUBTERRÁNEA ( Ac 72 - Av. Chile)**

**TIPOLOGÍA ESTACIÓN  
ANDENES LATERALES**

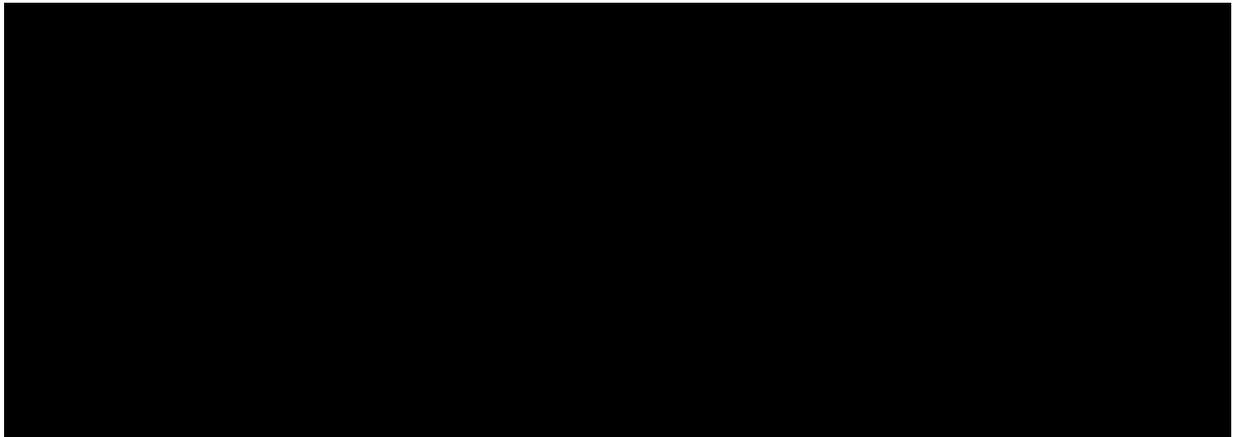
**Escaleras 1, 2,3 y 4**

Ritmo escaleras (p/mm min)	0,0555
Ancho escalera (mm)	<b>2400</b>
Capacidad (p/min)	<b>133</b>
Capacidad 1+2+3+4(p/min)	<b>533</b>

Carga tren máxima	2160 pax	Factor
Carga tren considerada	1661 PAX	0,769
Ocupación andén opuesto	<b>35</b>	
Ocupación andén espera (el + cargado)	<b>131</b>	
<b>Ocupación andén total</b>	<b>1792 PAX</b>	

Tiempo evacuación andén	<b>3,36 minutos</b>	< 4 minutos
-------------------------	---------------------	-------------

Es decir, se consigue la evacuación del andén en un tiempo inferior a los 4 minutos, para la mayor de las ocupaciones esperables. Queda ver qué ocurre con la estación en conjunto.

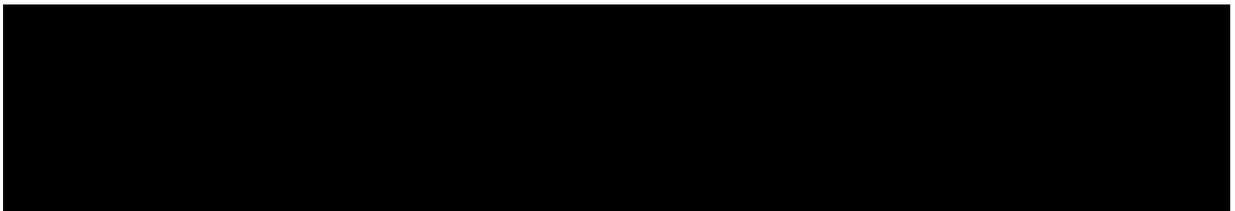


Se observa que no se alcanza la cota de calle en el tiempo de 6 minutos, es decir no se consigue satisfacer el punto de seguridad según el apartado (a). Sin embargo, se aprecia que se alcanza el inicio de las escaleras de evacuación, por tanto, con las medidas oportunas en el diseño, se puede considerar el núcleo de escaleras como punto de seguridad.

### ***ESTACIÓN SUBTERRÁNEA ( San Victorino)***



En esta estación no se evacua el andén en 4 minutos por lo que será necesario diseñar la estación con un mínimo de 6 escaleras del andén ala mezzanina.



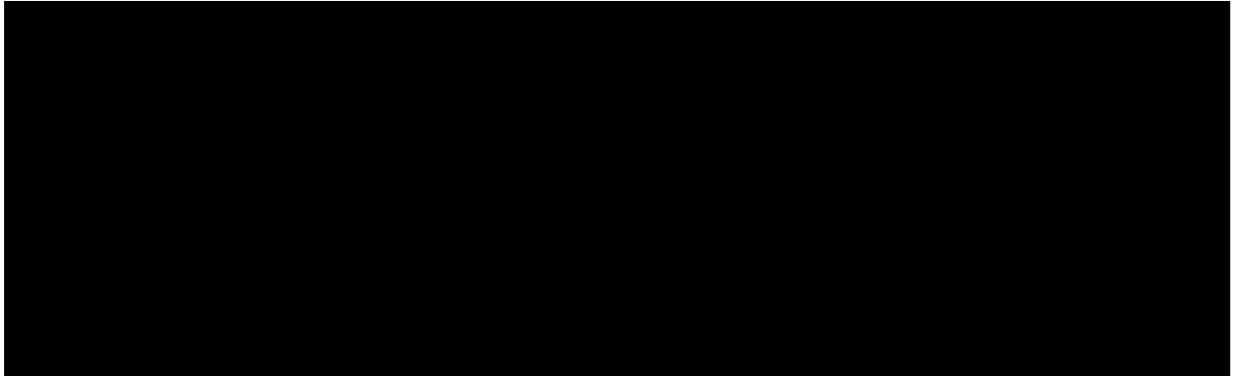
Como en las estaciones tipo en esta estación se consigue alcanzar el inicio de las escaleras en menos de 6 minutos por lo que habrá que tratar el núcleo de escaleras a la calle adecuadamente para garantizar la evacuación.

### ***ESTACIÓN TIPO EN SUPERFICIE (Calle 127)***

En el caso de tipología de estación con andén central, se realiza un cálculo análogo, en este caso considerando también las bajadas que podrían resultar de un tren en la otra vía, resultando los siguientes valores:



Es decir, la evacuación de los andenes se realiza en menos de 4 minutos hasta la *mezzanina*. A partir de este punto, los viajeros deben atravesar la zona de canceladoras, y alcanzar las escaleras que comunican con la calle.



Se observa, por tanto, que se alcanza la calle en un tiempo inferior a 6 minutos, por lo que para esta tipología de andén no deben adoptarse medidas especiales para garantizar la evacuación.

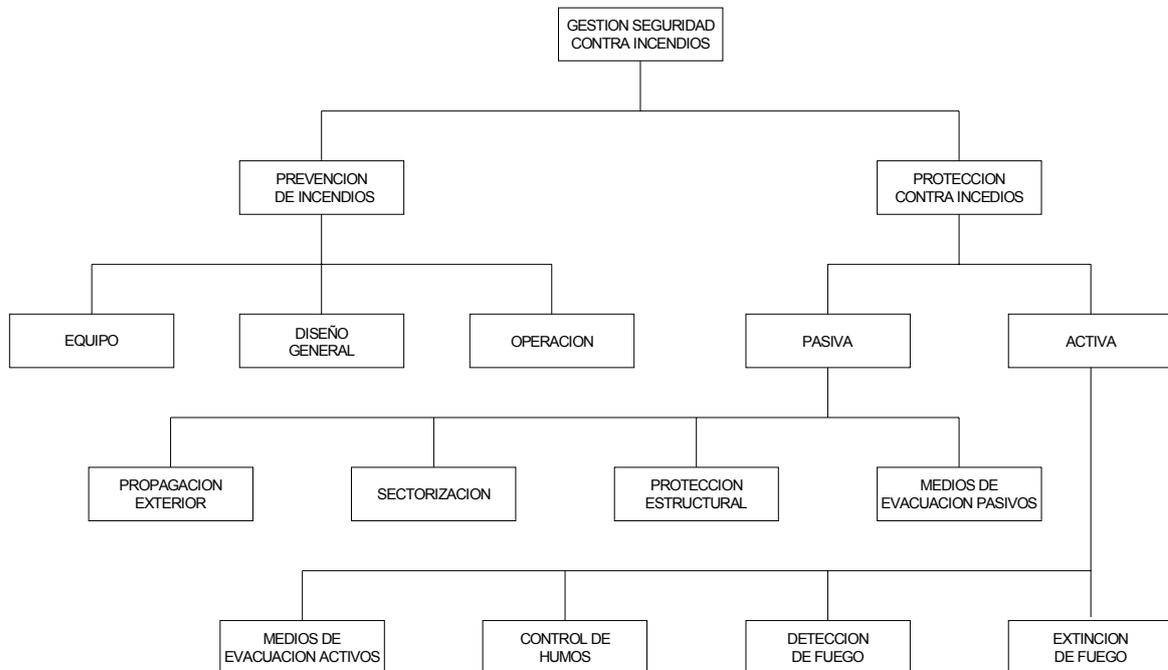
Para estaciones que comuniquen áreas tales como centros cívicos, complejos deportivos y centros de convenciones se deberán tener en cuenta tales eventos para establecer las cargas ocupacionales no incluidas en las cargas habituales de pasajeros.

### 3 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

#### 3.1 Filosofía de Protección Contra Incendios

Las medidas ante un incendio pueden ser preventivas o protectoras. Las medidas de tipo protectora son aquellas que se emplean una vez se ha producido el evento de incendio, mientras que las medidas preventivas son las que reducen la posibilidad de incendio o bien de que el incendio adquiera unas características determinadas. En este sentido, se define un Evento Crucial Fundamental (FCE) que podrá ser la aparición de un fuego, que el fuego tenga una dimensiones determinadas, u otro.

Las medidas para reducir la probabilidad de un FCE serán principalmente preventivas, mientras que cuando se trata de reducir las consecuencias, las medidas serán fundamentalmente protectoras. El siguiente esquema muestra un resumen de esta filosofía según se realice enfoque preventivo o protectora.



**Prevención:** Esencialmente la prevención tratará de asegurar que no exista fuego en el túnel. Esto se consigue mediante:

- Eliminar o reducir el número de fuentes de ignición y superficies calientes.
- Uso de materiales de baja inflamabilidad cuando sea posible.
- Separar las posibles fuentes de ignición de los materiales combustibles.
- Eliminar o reducir las posibles causas de ignición espontánea.

El planteamiento de evitar la ignición puede realizarse también como evitar la ignición en el interior del túnel. Esto es, una vez exista el fuego, si éste se produjo fuera del túnel, no entrar el tren incendiado al

túnel. Si el fuego se produce en una zona soterrada y la salida del túnel está próxima, llevar el tren incendiado al espacio exterior.

**Protección:** La protección contra incendios se clasifica en protección pasiva y activa.

**Protección pasiva:** Los medios de protección pasiva son los que se refieren a la construcción de la propia infraestructura, que servirán para limitar la extensión del fuego o la propagación de humos cuando ocurra un incendio. Son medios que están diseñados para la vida útil del túnel.

- Protección de la estructura: Por ejemplo mediante cobertura de los elementos metálicos para retardar la transmisión de calor a éstos.
- Sectorización: Creación de espacios separados resistentes al fuego o que eviten el paso de humos mediante divisiones con propiedades específicas para dicho fin.
- Medios de evacuación: Son los medios para facilitar las vías de evacuación, como pueden ser aceras en los hastiales de túnel, o escaleras de evacuación.
- Protección de la envolvente: Se protegerán el exterior de los edificios o infraestructura para minimizar la posibilidad de propagación del fuego hacia edificios contiguos.

**Protección Activa:** Los medios de protección activa operarán solamente en caso de que se produzca un incendio. Estos medios tendrán una respuesta en forma de accionamiento manual o mecánico para desencadenar una serie de acciones, que bien puede ser la extinción del incendio, la advertencia de evacuación a los usuarios, el control de los humos, etc.

El periodo de utilización previsto de las instalaciones se tendrá en cuenta, y si fuera necesario serán 24 horas diarias de manera ininterrumpida.

## **3.2 Gestión de Seguridad Contra Incendios en la línea de metro**

### **3.2.1 Medidas de seguridad en el túnel**

Las medidas de seguridad a emplear en el túnel, ante el evento crucial de incendio en túnel, atendiendo a la clasificación previamente comentada, serán:

#### **Preventivas:**

1. Correcto mantenimiento y revisión de las instalaciones electromecánicas, para reducir la probabilidad de origen de incendio accidental en la zona del túnel.
2. Evitar la entrada de tren hacia los espacios subterráneos cuando el incendio se declara en el tren mientras se encuentra en el exterior.
3. Sectorización de zonas de Riesgo: La sectorización, se incluye en este punto, mas puede entenderse como una medida protectora o preventiva, según el enfoque. Para cumplimiento de la normativa y una mejor y más eficaz actuación del Sistema de Protección Contra Incendios, ha de realizarse un estudio de túnel e instalaciones dependiendo de dos factores:

- Tipo de actividad en las distintas áreas. Se obtendrá una clasificación de las distintas áreas, y se determinarán las distintas zonas dentro de cada área.
- Riesgo de fuego y posibilidades de actuación.

Para que una determinada superficie se considere sector, sus paramentos deberán tener una determinada resistencia al fuego en puertas y paredes.

Las salas técnicas dispondrán de la sectorización correspondiente, por medio de las puertas cortafuego correspondiente. En el caso en que se disponga de un sistema de HVAC de la sala se dispondrá de las correspondientes compuertas cortafuegos para asegurar la sectorización.

#### 4. Acciones de formación y simulacros.

### Protección Contra Incendios:

#### 1. Instalaciones de detección de incendios.

Según la aplicación de UIC 779-9 (08/03), se dotará al túnel de instalaciones detectoras de incendio, humo y gas, facilitando la rápida localización de un incendio en su primera fase (posibilidad de ubicar el incendio).

Se dotará de estas instalaciones al túnel y a los cuartos técnicos. Puede ser puntual o continuo y se aplicarán distintos conceptos de detección en función del riesgo y del tipo de local. En las salas técnicas el sistema de detección será de detección rápida y precisa, pudiendo ser de tipo puntual.

Según NFPA 130, se instalarán detectores de calor y temperatura en las subestaciones de tracción, conectados a la central de supervisión en la estación.

Las señales recibidas de estos dispositivos deben ser fácilmente legibles, así como identificable su origen.

Basado en lo anteriormente expuesto y experiencia, se ha dispuesto la instalación de cable sensor en túnel (se determinará en fases posteriores de proyecto el tipo de detector lineal más apropiado) y situar detección en los locales de donde se encuentran los grupos diesel y en locales donde se instalen los equipos mecánicos o subestaciones de tracción y otro equipamiento eléctrico.

#### 2. Instalaciones para la extinción de incendios.

Según el Reglamento UIC 779-9 (08/03), se dispondrá un sistema de extinción de incendios, automático o accionado manualmente, para apagar un incendio en los primeros momentos (en el túnel y en cuartos técnicos).

Entre los sistemas de extinción de incendios a instalar en el túnel y espacios anejos se tendrán las siguientes opciones, cuya implantación deberá ser detallada en la redacción del proyecto:

- Extinción por medios manuales: Los medios de extinción manual pueden ser exclusivos para bomberos, como son los hidrantes, o bien manejables por el personal de mantenimiento y explotación, básicamente extintores en salas técnicas.

Conforme a la norma NFPA 130, se instalarán bocas de incendio para túneles en construcción mayores de 61 m.

Según UIC 779-9 (08/03), editada por "Union Internationale des Chemins de Fer", se dispondrá de suministro a lo largo del túnel: columna seca o llena de agua, instalada por un lado de la vía.

La distribución de los hidrantes, el tipo, la presión requerida de la red de abastecimiento, deberán ser acordados con los servicios de bomberos de la ciudad de Bogotá, para integrar sus características en las definidas por los protocolos de intervención de éstos.

Los extintores portátiles tendrán las características exigidas por la normativa vigente: capacidad de extinción, tipo de agente, ubicación, etc.

- Extinción automática: Se estudiará la posibilidad de extinción automática en salas técnicas ubicadas en el interior del túnel.
3. Evacuación de humos. Este punto queda descrito anteriormente en el capítulo de ventilación de emergencia.
  4. Señalización de rutas de evacuación y medios de extinción

Se instalarán en el túnel señales de tipo foto luminiscente que indiquen los recorridos y distancias hasta las salidas de evacuación. Se señalarán también los medios de extinción, así como otro tipo de información necesaria (advertencia de "peligro alta tensión" por ejemplo).

### 3.2.2 Seguridad en la estación

Las medidas de seguridad a emplear en las estaciones, siguen el mismo esquema, pudiendo ser medidas preventivas o de protección:

#### Preventivas:

1. Correcto mantenimiento y revisión de las instalaciones electromecánicas, para reducir la probabilidad de origen de incendio accidental en la zona de estación. Las escaleras mecánicas, y otro tipo de instalaciones propias de la estación son muy sensibles a almacenar suciedad que puede ser foco de incendio.
2. Evitar la entrada de tren en las estaciones cuando el incendio se declara en el tren. Deberá estudiarse esta medida en función de los escenarios concretos, ya que la evacuación del tren resulta más fácil a través de la estación.
3. Sectorización de zonas de Riesgo:

Para que una determinada superficie se considere sector, sus paramentos deberán tener una determinada resistencia al fuego en puertas y paredes.

Será sector independiente el parking sobre la zona de andenes. Cuando existan espacios comerciales anejos o en la propia estación, se deberá estudiar la sectorización de estos locales.

Las salas técnicas dispondrán de la sectorización correspondiente, por medio de las puertas cortafuego correspondiente. En el caso en que se disponga de un sistema de HVAC de la sala se dispondrá de las correspondientes compuertas cortafuegos para asegurar la sectorización.

#### 4. Acciones de formación y simulacros.

Este tipo de acciones se realizarán con la colaboración entre la explotación de metro de Bogotá y los medios implicados en el rescate y extinción de incendios (bomberos, protección civil, ambulancias...)

### Protección Contra Incendios:

#### 1. Instalaciones de detección de incendios.

El sistema cumplirá con los requerimientos de sensibilidad de la Norma Europea EN54. Se instalará un sistema de detección de humos en las zonas de andenes y de ocupación de viajeros, como son accesos, vestíbulos, etc. Este sistema de detección será complementado por el sistema de detección de CO instalado para control de la calidad de aire, tal como se indicaba en el apartado de ventilación.

Se dotará de estas instalaciones a cada uno de los cuartos técnicos, aplicándose distintos conceptos de detección en función del riesgo y del tipo de local. Será preferible una instalación de tipo analógica inteligente. Los pulsadores manuales de alarma instalados en la estación estarán incluidos en el lazo de detección.

#### 2. Instalaciones de extinción de incendios.

- Extinción por medios manuales: Los medios de extinción manual pueden ser exclusivos para bomberos, como son los hidrantes, o bien manejables por el personal de mantenimiento y explotación, básicamente extintores en salas técnicas.

La distribución de los hidrantes será bien en los accesos a las estaciones o bien en la zona de andenes. Tanto la distribución como otros factores, como son el tipo, la presión requerida de la red de abastecimiento, deberán ser acordados con los servicios de bomberos de la ciudad de Bogotá, para integrar sus características en las definidas por los protocolos de intervención de éstos. En particular, se considerará, atendiendo a las exigencias de los servicios de intervención y rescate, la conveniencia de instalar columna seca en lugar de húmeda.

Los extintores portátiles tendrán las características exigidas por la normativa vigente: capacidad de extinción, tipo de agente, ubicación, etc.

Se estudiará disponer BIEs (bocas de incendio equipadas) en la zona de andenes. En caso de que se instalen, se controlará el suministro de agua al anillo que las alimenta mediante una válvula motorizada que compruebe que no existe peligro por alta tensión en la catenaria.

Con el fin de paliar los posibles problemas por averías, se situarán válvulas de corte manuales, a fin de disponer de sectorización en la red de distribución de agua para extinción. También se dispondrán de venteos en puntos altos y purgas en las zonas bajas. La capacidad de la red de suministro municipal condicionará la necesidad de sistemas de bombeo y depósitos de agua para la red de extinción.

- Extinción automática: Se estudiará la posibilidad de extinción automática en salas técnicas ubicadas en el interior del túnel. En estos casos serán sistemas mediante gases inertes o agua nebulizada.



Si existen locales comerciales procederá la instalación de sistemas de rociadores automáticos u otros medios de protección específicos.

3. Evacuación de humos. Este punto queda descrito anteriormente en el capítulo de ventilación de emergencia.
4. Señalización de de rutas de evacuación y medios de extinción

Se instalarán en el túnel señales de tipo foto luminiscente que indiquen los recorridos y distancias hasta las salidas de evacuación. Se señalarán también los medios de extinción, así como otro tipo de información necesaria (advertencia de “peligro alta tensión” por ejemplo).

5. Existirá enclavamiento entre la acción de los medios de protección contra incendios y otros sistemas de instalaciones, como son la climatización, si existiera, o la ventilación sanitaria, que se pararán en caso de incendio

## 4 SISTEMA DE CONTROL DE ACCESOS

En este apartado se definen el diseño operacional y las especificaciones técnicas funcionales a tener en cuenta en el momento de diseñar el Sistema de Control de Accesos para la PLMB. En concreto, se definen los actores humanos y materiales que forman parte del sistema, la arquitectura funcional, así como los flujos de información que generan dichos actores, estableciéndose así los criterios de operación del sistema.

### 4.1 Actores del sistema

El primer aspecto a considerar en el diseño operacional del sistema de Control de Accesos de la PLMB es identificar cada uno de los actores que interactúan y que generan o reciben un flujo de información a través del sistema, así como definir sus responsabilidades.

En este caso se distinguen cuatro (4) tipos de actores humanos:

- Operadores en el PCC
- Personal de la Línea
- Personal de Talleres
- Usuarios de la Línea

Igualmente, se distinguen los siguientes tipos de actores materiales:

- Terminal de Operación Control de Accesos
- Servidor de Control de Accesos
- Concentrador de Accesos
- Elementos y sensores de campo
  - Lector de elementos de identificación personal
  - Pulsador de solicitud de salida
  - Elemento de bloqueo de puerta
  - Sensor de detección de apertura de puerta
- Servidor de Integración de los Sistemas de Comunicaciones
- Terminal de gestión y administración de los Sistemas de Comunicaciones

#### 4.1.1 Actores Humanos

El Sistema de Control de Accesos permitirá al Operador de Seguridad la capacidad de controlar y restringir el acceso a zonas con carácter restringido dentro de las instalaciones de la PLMB, siendo considerada como zona restringida aquella en la que no puede haber viajeros y donde el acceso por parte de personal de la línea debe realizarse mediante identificación. A continuación se identifican los

actores humanos particulares del sistema y se definen sus responsabilidades, estableciendo las funcionalidades a las que tendrán acceso para obtener el máximo rendimiento del sistema.

#### 4.1.1.1 Operadores en el PCC

Los Operadores del PCC que tendrán acceso a las salas y dependencias técnicas del PCC se clasifican según su ubicación en:

- Sala de Operadores:
  - Operador de Seguridad (PCC)
- Sala de Mantenimiento
  - Equipo Técnico de Mantenimiento
- Sala de Simulación y Formación
  - Administrador de la Herramienta de Simulación y Formación
- Despachos
  - Personal de Administración y Gerencia de la Línea

El Operador de Seguridad podrá restringir o validar los accesos a las diferentes zonas de las estaciones, talleres y cocheras o PCC, así como a otros emplazamientos de la PLMB, en especial a salas y zonas más sensibles para la seguridad e integridad de las personas.

El Operador de Seguridad en el PCC tendrá acceso a las funciones avanzadas proporcionadas por el Terminal de Operación de Control de Accesos que le permitirá operar de forma ágil y sencilla el sistema, así como ser informado sobre el estado del mismo. En particular, este operador podrá tener acceso a las siguientes funcionalidades:

- Gestión Operativa:
  - Supervisión del estado de cada uno de los puntos de control de acceso
  - Apertura remota de accesos
  - Gestión de listas blancas (personal autorizado para el acceso a una o varias zonas de control) y horarios
  - Anulación temporal de restricciones de un punto de control de acceso
  - Gestión de visitas y acreditaciones
  - Administración de los elementos de identificación personal
  - Consulta de históricos de validación por un usuario o grupo de usuarios
  - Supervisión de alarmas de apertura de puerta y visualización de la imagen asociada



- Exportación de informes y estadísticas referentes al uso del sistema

Por su parte, el Equipo Técnico de Mantenimiento ubicado en la Sala de Mantenimiento del PCC será responsable de llevar a cabo todas las actividades de mantenimiento, administración y supervisión global del sistema de Control de Accesos, a través del Terminal de Supervisión de los Sistemas de Comunicaciones, estando bajo su responsabilidad las siguientes tareas de administración:

- Administración Técnica:
  - Supervisión técnica y monitorización unificada de los elementos que conforman el sistema
  - Reporte y gestión de alarmas e incidencias del sistema
  - Actualización y/o modificación de los parámetros del sistema
  - Exportación de informes y estadísticas de alarmas e incidencias del sistema

En el caso del Administrador de la herramienta de simulación y formación y del Personal Administrativo y de Gerencia de la Línea, estos actuarán como usuarios del sistema de control de accesos.

En caso de emergencia, todos los Operadores del PCC podrán hacer uso de las puertas de salida de emergencia para proceder a evacuar las instalaciones del PCC.

#### **4.1.1.2 Personal de la Línea**

El Personal de la Línea se encuentra ubicado a lo largo de las instalaciones de la PLMB, tanto en dependencias técnicas (cocheras, subestaciones eléctricas, centros de transformación, salas de enclavamientos, salas de comunicaciones, etc.) como en ciertas estaciones de la Línea. En concreto se identifican los siguientes actores:

- Agente de Zona
- Personal de Mantenimiento de Campo
- Personal de Seguridad
- Personal de Limpieza

El Agente de Zona, el Personal de Mantenimiento de Campo, el Personal de Seguridad, y el Personal de Limpieza actuarán como usuarios del sistema de Control de Accesos, solicitando el acceso requerido a las zonas restringidas a través de los elementos de identificación personal o a través del pulsador de solicitud de salida. En el caso concreto del Personal de Mantenimiento de Campo, este no solo actuará como usuario, sino que además será responsable de llevar a cabo las tareas de mantenimiento de este sistema.

En caso de emergencia, el Personal de la Línea podrá hacer uso de las puertas de salida de emergencia para proceder a evacuar las instalaciones de la Línea.

#### **4.1.1.3 Personal de Talleres**

El Personal de Talleres se encuentra ubicado en las instalaciones de talleres, identificándose los siguientes actores:

- Jefe de Taller
- Personal de Mantenimiento de Talleres
- Personal Administrativo

El Jefe de Taller, el Personal de Mantenimiento de Talleres y el Personal Administrativo actuarán como usuarios del sistema de Control de Accesos, solicitando el acceso requerido a las zonas restringidas a través de los elementos de identificación personal o a través del pulsador de solicitud de salida. Por su parte, el personal de Mantenimiento de Talleres, no solo actuará como usuario, sino que además será responsable de llevar a cabo las tareas de mantenimiento de este sistema.

En caso de emergencia, el Personal de Talleres podrá hacer uso de las puertas de salida de emergencia para proceder a evacuar las instalaciones de Talleres.

#### **4.1.1.4 Usuarios de la Línea**

Los usuarios de la Línea están representados por todos los pasajeros y personal externo que se encuentran en las instalaciones de la PLMB. En particular los usuarios de la Línea estarán de forma itinerante en estaciones (vestíbulos, andenes, salidas de emergencia, accesos, etc.), zonas de transferencia y a bordo del material móvil, desde donde tendrán acceso a las puertas en rutas de evacuación o puertas de salidas de emergencia, en caso de que sea necesaria la evacuación de las instalaciones de la PLMB.

### **4.1.2 Actores Materiales**

Los actores materiales están representados por aquellos equipamientos y dispositivos que realizan una función específica dentro de la operación del Sistema de Control de Accesos y que sirven de interfaz para la interacción de los actores humanos con los demás componentes del sistema. Los actores materiales se detallan a continuación identificando las funcionalidades de cada uno de ellos:

#### **4.1.2.1 Terminal de Operación Control de Accesos**

El terminal de operación de control de accesos representa la interfaz para la gestión y operación por parte del Operador de Seguridad de todos los elementos del sistema, así como para el control y supervisión de todos los accesos a las diferentes zonas de las estaciones, talleres y cocheras, PCC, y otros emplazamientos de acceso restringido de la Línea.

Este terminal permitirá al Operador de Seguridad llevar a cabo las siguientes funciones:

- Supervisión del estado de cada uno de los puntos de control de acceso
- Visualización de las imágenes en los puntos donde se genere una alarma de intrusión ilícita
- Establecimiento de conversaciones de voz con un usuario del sistema a través del sistema de Interfonía

- Apertura remota de accesos
- Gestión de las listas blancas y horarios
- Gestión de visitas y acreditaciones
- Anulación temporal de restricciones de seguridad en un punto de control de acceso
- Administración de los elementos de identificación personal
- Consulta de históricos de validación por un usuario o grupo de usuarios

El terminal permitirá al Operador de Seguridad llevar a cabo una gestión ágil y sencilla de todo el sistema, garantizando su correcta y eficiente operación. Además, este terminal permitirá al Operador, a través del Servidor de Integración de los sistemas de comunicaciones, tener acceso a nivel de aplicación a los servicios de visualización de imágenes del sistema CCTV y a los servicios para el establecimiento de conversaciones de voz a través del sistema de Interfonía, mediante una única aplicación.

#### **4.1.2.2 Servidor de Control de Accesos**

El servidor de Control de Accesos representa el núcleo del sistema y se encuentra redundado en la Sala de Servidores del PCC para garantizar la máxima disponibilidad del sistema. Los servidores almacenarán una base de datos con todos los registros de permisos de accesos, horarios, gestión de históricos, así como toda la información de configuración del sistema, etc. Igualmente, aquí residirán las aplicaciones nativas de gestión, configuración y mantenimiento del sistema.

Estos servidores proporcionarán al Operador de Seguridad todas las funcionalidades de gestión operativa y administración, y al Personal del Equipo Técnico de Mantenimiento, todas las funcionalidades de supervisión unificada y configuración del sistema de Control de Accesos.

En concreto los servidores de control de acceso garantizarán la configuración y monitorización continua del sistema de Control de Accesos, habilitando las siguientes funcionalidades:

- Configuración de los elementos componentes del sistema
- Diagnóstico y monitorización de los elementos del sistema
- Clasificación de zonas de acceso en función del personal accesible, los horarios y el modo o método de validación (tarjetas magnéticas, introducción de código vía teclado, biométrico,...)
- Base de datos con los registros de permisos de acceso, horarios, gestión de históricos y parámetros de configuración del sistema
- Registro de cualquier interacción de los usuarios con el sistema, trazabilidad de autenticaciones o intentos de autenticación de un usuario
- Supervisión y gestión de alarmas de todas las zonas de acceso restringido
- Realización de estadísticas
- Localización de fallos y trabajos de mantenimiento

- Detección de falsas alarmas

#### 4.1.2.3 Concentrador de Accesos

El concentrador de accesos es el elemento ubicado en las salas de comunicaciones de las estaciones, talleres y cocheras, encargado de obtener todos los datos de los elementos de campo y reportarlos al Servidor de Control de Accesos en el PCC.

Este equipo deberá mantener una base de datos con la totalidad del personal autorizado para las diferentes dependencias de la estación (lista blanca) y su operación será independiente y segura ante el fallo del PCC.

#### 4.1.2.4 Elementos y sensores de campo

A nivel de campo (accesos en estaciones, talleres y cocheras, PCC, dependencias técnicas, etc.), se identifican los siguientes elementos:

- Lector de elementos de identificación personal, capaz de transferir la información de dicho elemento a la interfaz de control
- Elemento de bloqueo de puerta
- Sensor de detección de apertura de puerta
- Pulsador de solicitud de salida

Todos estos elementos, en diferentes configuraciones permitirán detectar y controlar los accesos de las zonas restringidas en estaciones, talleres y cocheras, PCC y dependencias técnicas a lo largo de la Línea. Las posibles configuraciones se definen según el tipo de puerta a controlar:

- Puertas de acceso restringido
  - Lector de elementos de identificación personal
  - Pulsador de solicitud de salida
  - Elemento de bloqueo de puerta
  - Sensor de detección de apertura de puerta
- Puertas en ruta de acceso
  - Lector de elementos de identificación personal
  - Pulsador de solicitud de salida
  - Sensor de detección de apertura de puerta
- Puertas de salida de emergencia
  - Sensor de detección de apertura de puerta



En caso de la ocurrencia de una situación emergencia en una zona de acceso o salida restringidos, las puertas de acceso restringido deben quedar desbloqueadas automáticamente permitiendo la evacuación del personal.

#### **4.1.2.5 Servidor de Integración de los Sistemas de Comunicaciones**

Este servidor permitirá la integración del sistema de Control de Accesos con el sistema CCTV y el sistema de Interfonía a nivel de aplicación, de forma que el Operador de Seguridad pueda tener un acceso fácil, intuitivo y cómodo a las funcionalidades definidas por el sistema de Control de Accesos, al mismo tiempo, que disponer de reconocimiento visual en tiempo real del punto de acceso donde ha ocurrido una alarma por apertura de puerta no autorizada o por avería, o establecer comunicación de voz con el usuario cuando el operador lo considere necesario.

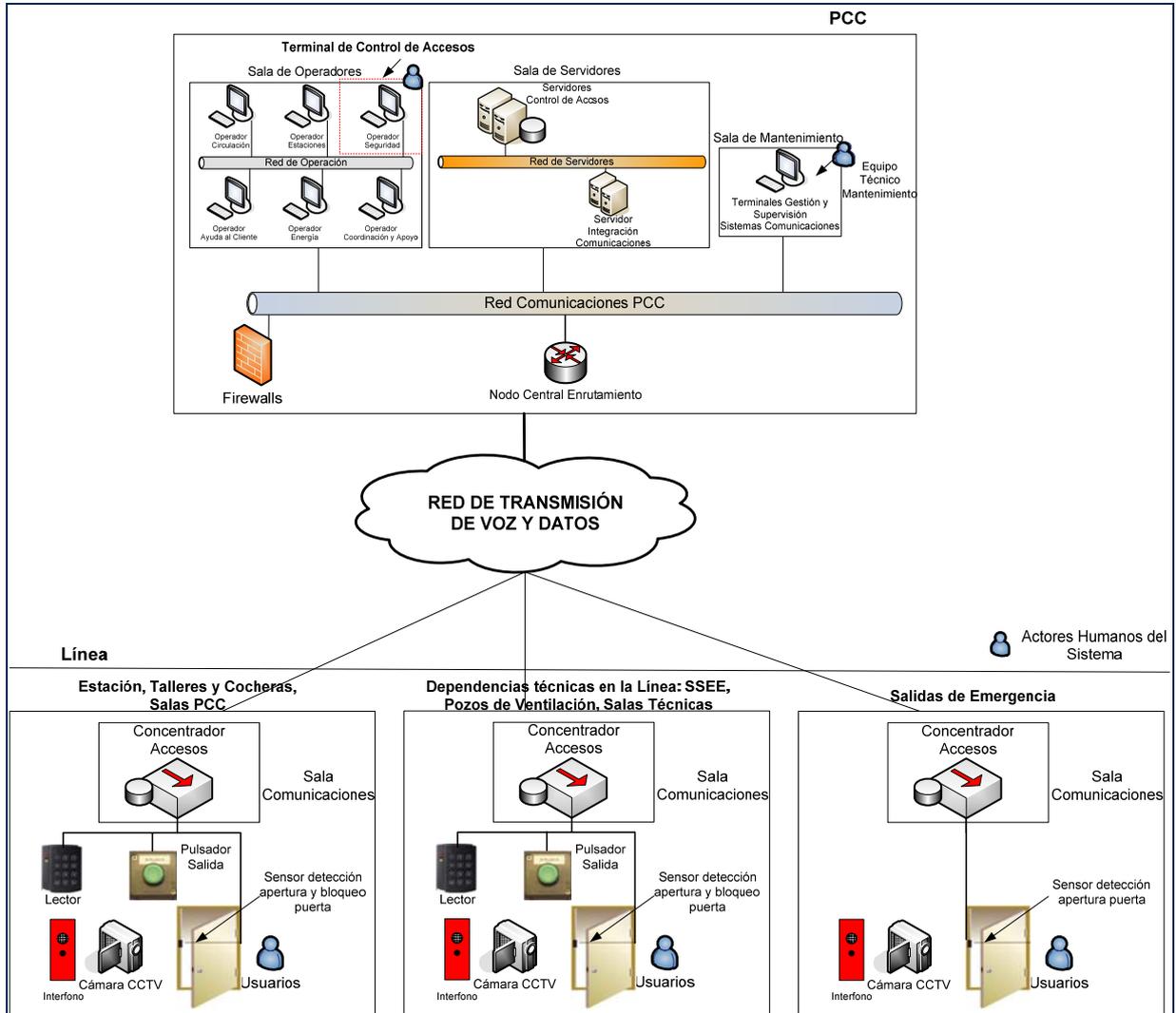
#### **4.1.2.6 Terminal de Gestión y Administración de los Sistemas de Comunicaciones**

Este terminal estará emplazado en la Sala de Mantenimiento del PCC y permitirá al Equipo Técnico de Mantenimiento de los Sistemas de Comunicaciones realizar la gestión operativa y las tareas de mantenimiento del sistema, posibilitando el acceso a las funcionalidades de supervisión del Sistema de Control de Accesos en los Servidores nativos

### **4.2 Arquitectura Funcional**

El propósito de este apartado es definir la arquitectura funcional del Sistema de Control de Accesos, que sirva como marco de referencia para que el Adjudicatario lleve a cabo el diseño específico del sistema para la PLMB.

En el siguiente diagrama se propone una arquitectura tipo para el Sistema de Control de Accesos y se definen los elementos que lo componen, los principales actores humanos y materiales, así como su interacción a través del sistema.



**Figura 1. Arquitectura Funcional del Sistema de Control de Accesos de la PLMB**

El sistema de control de accesos será un sistema de control centralizado basado en una estructura distribuida en dos niveles: un nivel superior conformado por el PCC y un nivel inferior conformado por la Línea (estaciones, talleres y cocheras, otras dependencias técnicas), de manera que el fallo del nivel superior no afecte las funciones críticas del nivel inferior, provocando en el peor caso una limitación de las funciones no críticas que lleva a cabo el sistema.

A continuación se detallan los elementos que conforman la arquitectura del sistema en cada nivel, al igual que la interacción entre ellos.

#### 4.2.1 Puesto Central de Operación

En el PCC se ubican los servidores de Control de Accesos, los servidores de integración de los Sistemas de Comunicaciones, el Terminal de Gestión y Administración de los Sistemas de Comunicaciones, y el Terminal de Operación de Control de Accesos.



– Terminal de Operación

El Terminal de operación permitirá el acceso a los Servidores de Integración de los Sistemas de Comunicaciones para acceder a la aplicación de gestión, supervisión y administración del sistema de Control de Accesos, así como a los servicios de visualización de imágenes (CCTV) y establecimiento de comunicaciones de voz (Interfonía) con todos los puntos de control de acceso a lo largo de la PLMB.

Además, este dispondrá de un grabador de elementos de identificación personal (tarjetas *contactless*), a través del cual el Operador de Seguridad podrá generar las tarjetas de identificación para los usuarios del sistema que requieran acceso a las zonas restringidas de la PLMB.

Los terminales de operación se comunicarán con los Servidores de Integración a través de la Red de Comunicaciones del PCC, permitiendo el acceso a dichas funcionalidades.

– Servidores de Control de Accesos

Estos contendrán las aplicaciones nativas para la gestión, administración, mantenimiento y configuración del Sistema de Control de Accesos. Además, implementarán las bases de datos donde se almacenen todos los registros de permisos de accesos, horarios, gestión de históricos, así como toda la información de configuración del sistema, etc.

Los servidores de control de accesos se comunicarán a través de enlaces físicos redundantes de la red de transmisión de voz y datos para establecer comunicación con los Concentradores de Acceso en las salas de comunicaciones de estación, talleres y cocheras, PCC y demás dependencias técnicas de la PLMB.

La configuración redundante de los servidores es una medida necesaria para garantizar el servicio continuo en caso de fallo o avería de cualquiera de ellos. En caso de fallo del servidor principal, todos los elementos del sistema pasan a funcionar a través del servidor de backup, de forma que la conmutación sea inmediata y automática, y que suponga el menor tiempo de indisponibilidad del sistema.

– Servidores de Integración de los Sistemas de Comunicaciones

Los servidores de integración ubicados en la Sala de Servidores del PCC, se encargarán de integrar los servicios del Sistema de Control de Accesos, la visualización de imágenes de los puntos de accesos a través del CCTV y el establecimiento de llamadas con los usuarios a través del Sistema de Interfonía, en una misma aplicación que permita presentar de forma fácil e intuitiva al Operador de Seguridad las funcionalidades operativas ofrecidas por estos sistemas.

La comunicación de estos servidores con los Servidores de Control de Accesos y con el Terminal de Control de Accesos se realizará a través de los enlaces físicos redundantes de la red de transmisión de voz y datos.

– Terminal de Gestión y Administración de los Sistemas de Comunicaciones

Este terminal estará emplazado en la Sala de Mantenimiento del PCC y se comunicará directamente con las aplicaciones nativas del sistema de Control de Accesos que residen en los Servidores de Control de Accesos, a través de la Red de Transmisión de Voz y Datos. De esta manera se garantizan las operaciones de configuración, actualización y mantenimiento del sistema por parte del Personal Técnico de Mantenimiento.

#### 4.2.2 Estaciones, Talleres y otras dependencias técnicas

- Concentrador de Accesos

Este elemento se ubica en la sala de comunicaciones de las estaciones, talleres y cocheras y el PCC, con la finalidad de recoger todos los datos reportados desde los diferentes elementos de campo y enviarlos hacia los Servidores de Control de Accesos en la Sala de Servidores del PCC, a través de la Red de Transmisión de Voz y Datos.

Las alarmas se mostrarán siempre en el Terminal de Control de Accesos del puesto de Operador de Seguridad. El concentrador de accesos almacenará en forma redundante la información de la totalidad del personal autorizado para acceder a las diferentes zonas restringidas de la Línea (lista blanca), garantizando una operación automática del sistema a nivel local, incluso en caso que se pierda comunicación con el PCC.

- Elementos y sensores de campo

Los elementos de campo y sensores son los responsables de detectar cualquier cambio de estado en las puertas de acceso controladas por el sistema, así como recoger la información de validación de acceso de los usuarios a las zonas restringidas. Todos los cambios de estado de usuarios se reportarán al concentrador de accesos correspondiente para generar las alarmas o avisos pertinentes a los operadores del PCC. Del mismo modo, la información de validación de usuarios se enviará al concentrador para autorizar o restringir el acceso de un usuario, desde el puesto de operador en el PCC o desde el propio concentrador de estación.

#### 4.3 Flujos de Información

En este apartado se procede a identificar los principales flujos de información existentes en base al cumplimiento de las funcionalidades del propio sistema (definidos en el producto 22) y la interacción entre los actores humanos y materiales previamente definidos.

Dentro del Sistema de Control de Accesos de la PLMB se pueden identificar a alto nivel los siguientes flujos de información:

- Flujo 1: Gestión Operativa del Sistema
- Flujo 2: Administración Técnica del Sistema
- Flujo 3: Validación y autorización de acceso

Seguidamente, se define la información que compone a cada uno de los flujos, así como los actores humanos y materiales que los generan y/o reciben.

##### 4.3.1 Flujo 1: Gestión Operativa y Administración Técnica del Sistema

Este flujo estará compuesto por las siguientes primitivas de información:

- Inicio de sesión y acceso a la aplicación de gestión y administración desde el Terminal de Control de Accesos
- Cierre de sesión en la aplicación de gestión y administración desde el Terminal de Control de Accesos

- Gestión de listas blancas y horarios
- Anulación temporal de restricciones de un punto de control de acceso
- Gestión de visitas y acreditaciones
- Configuración de los elementos de identificación personal
- Consulta de históricos de validación por un usuario o grupo de usuarios
- Exportación de informes y estadísticas referentes al uso del sistema
- Reporte de alarmas e incidencias a alto nivel

Los actores que intervendrán en la generación y recepción de este flujo de información serán los siguientes:

- Actores Humanos
  - Operadores del PCC:
    - Operador de Seguridad (Operador)
    - Equipo Técnico de Mantenimiento Comunicaciones (Usuario)
    - Administrador de la Herramienta de Simulación y Formación (Usuario)
    - Personal de Administración y Gerencia de la Línea (Usuario)
  - Personal de la Línea
    - Agente de Zona (Usuario)
    - Personal de Mantenimiento de Campo (Usuario/Mantenedor)
    - Personal de Seguridad (Usuario)
    - Personal de Limpieza (Usuario)
  - Personal de Talleres (Usuario)
    - Jefe de Taller (Usuario)
    - Personal de Mantenimiento de Talleres (Usuario/Mantenedor)
    - Personal Administrativo (Usuario)
- Actores Materiales
  - Terminal de Operación de Control de Accesos
  - Servidores de Control de Accesos (aplicaciones nativas)

- Servidor de Integración de los Sistemas de Comunicaciones

Este flujo se establecerá entre el Terminal de Operación de Control de Accesos y el Servidor de Integración. Las primitivas de información contenidas en este flujo, además de permitir la administración y gestión operativa, permitirán la supervisión a alto nivel del sistema (ver Producto 29: Diseño Operacional Puesto de Control Central).

#### 4.3.2 Flujo 2: Configuración y mantenimiento del Sistema

Este flujo estará compuesto por las siguientes primitivas de información:

- Inicio de sesión y acceso a la aplicación nativa de control de accesos desde el Terminal de Gestión y Supervisión de los Sistemas de Comunicaciones.
- Cierre de sesión en la aplicación nativa de control de accesos desde el Terminal de Gestión y Supervisión de los Sistemas de Comunicaciones.
- Modificación de los parámetros del sistema
- Monitorización unificada de los elementos del sistema
- Reporte y gestión de alarmas e incidencias del sistema
- Configuración remota de bases de datos
- Exportación de informes y estadísticas de alarmas e incidencias del sistema

Los actores que intervendrán en la generación y recepción de este flujo de información serán los siguientes:

- Actores Humanos
  - Operadores del PCC:
    - Equipo Técnico de Mantenimiento Comunicaciones (Usuario/Mantenedor)
- Actores Materiales
  - Servidores de Control de Accesos (aplicaciones nativas)
  - Terminal de Gestión y Supervisión de Sistemas de Comunicaciones
  - Concentrador de Accesos

El flujo de información se establecerá entre el Terminal de Gestión y Supervisión (Sala Mantenimiento) y los Servidores de Control de accesos (aplicaciones nativas) (ver Producto 29: Diseño Operacional Puesto de Control Central).

Este flujo de información generará cambios de parámetros que pueden tener efecto sobre todo el sistema o parte de él. Igualmente, dentro de este flujo pueden contenerse reporte de datos desde el Servidor de Control de Accesos para informar al Equipo Técnico de Mantenimiento sobre determinados parámetros y alarmas del sistema que puedan requerir una actuación de mantenimiento. ,

Además el Concentrador de Accesos podrá enviar hacia el Servidor de Control de Accesos, datos del estado de los elementos de campo que supervisa, así como recibir comandos y datos para su configuración o mantenimiento.

#### 4.3.3 Flujo 3: Validación y autorización de acceso

Este flujo estará compuesto por las siguientes primitivas de información:

- Recepción de información de validación del elemento de identificación
- Envío automático de desbloqueo de puerta
- Envío remoto de autorización de desbloqueo de puerta
- Reporte de alarmas y supervisión del estado de cada uno de los puntos de control de acceso
- Reporte de alarmas de apertura ilícita de puerta o temporizador de puerta abierta vencido

Los actores que intervendrán en la generación y recepción de este flujo de información serán los siguientes:

- Actores Humanos
  - Operadores del PCC:
    - Operador de Seguridad (Operador)
    - Equipo Técnico de Mantenimiento Comunicaciones (Usuario)
    - Administrador de la Herramienta de Simulación y Formación (Usuario)
    - Personal de Administración y Gerencia de la Línea (Usuario)
  - Personal de la Línea
    - Agente de Zona (Usuario)
    - Personal de Mantenimiento de Campo (Usuario/Mantenedor)
    - Personal de Seguridad (Usuario)
    - Personal de Limpieza (Usuario)
  - Personal de Talleres
    - Jefe de Taller (Usuario)
    - Personal de Mantenimiento de Talleres (Usuario)
    - Personal Administrativo (Usuario)

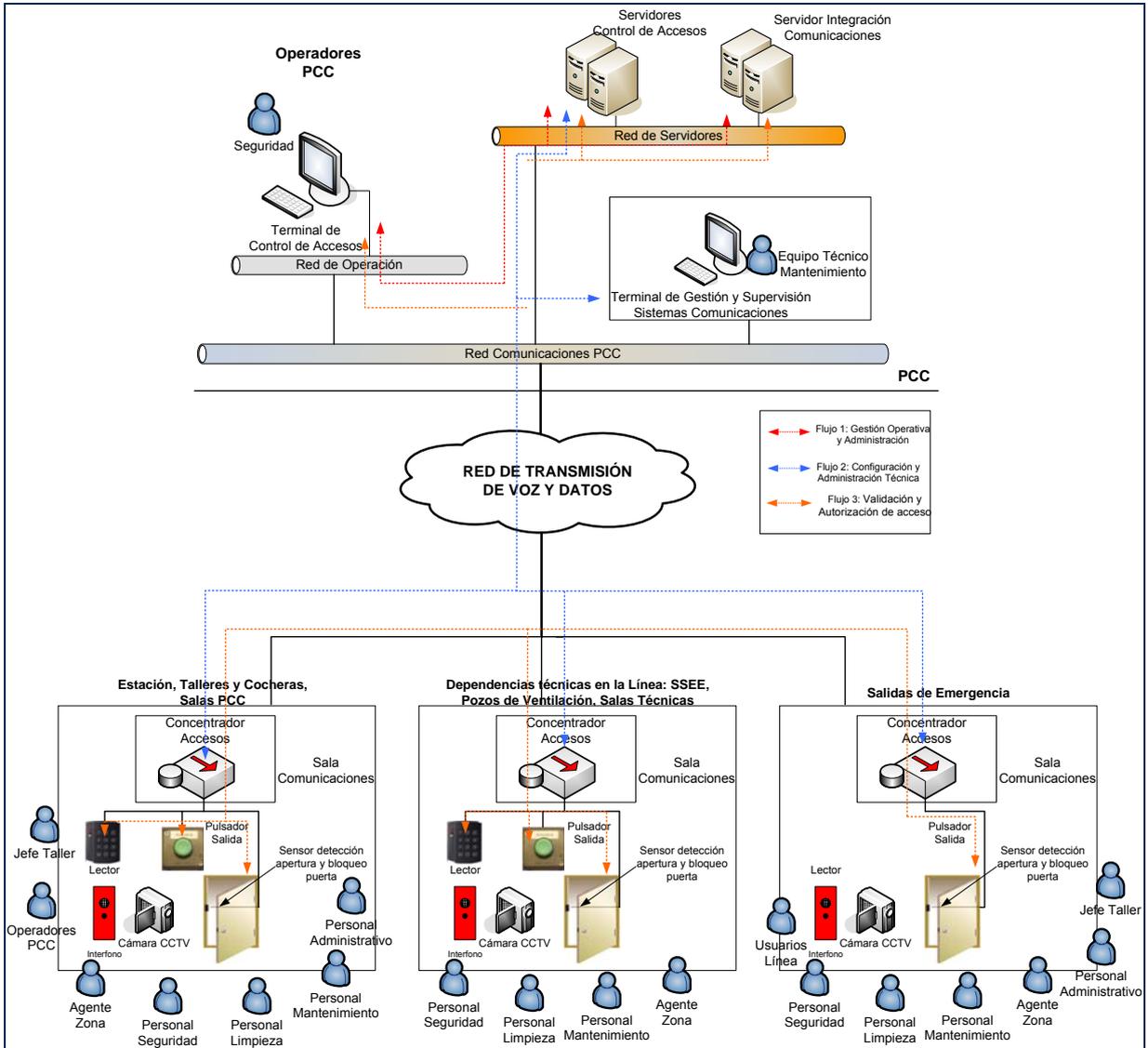
- Actores Materiales
  - Terminal de Operación de Control de Accesos
  - Servidor de Integración de los Sistemas de Comunicaciones
  - Servidores de Control de Accesos (aplicaciones nativas)
  - Concentrador de Accesos
  - Elementos y sensores de campo

Este flujo de información es indispensable para que el sistema pueda automáticamente validar el acceso de un usuario a una zona restringida, y en caso de que ocurra una incidencia (avería elemento de identificación, etc.) el Operador pueda realizar el reconocimiento visual (CCTV) y verbal (Interfono) del usuario para autorizar de forma remota su acceso.

Además permite al Operador de Seguridad supervisar desde el PCC todas las alarmas generadas como consecuencia de accesos ilícitos, la apertura de puertas de emergencia, el vencimiento de los temporizadores de apertura de puerta, a la vez que visualizar las imágenes de dichos accesos en caso de incidencia a través del propio Terminal de Control de Accesos.

#### **4.4 Diagramas de flujos de información**

En este apartado se presenta un diagrama donde se representan los principales flujos de información que se establecen en el Sistema de Control de Accesos para garantizar el control y restricción de acceso a las zonas controladas de la PLMB, así como, la gestión, supervisión, mantenimiento y configuración del sistema.



**Figura 2. Diagrama de Flujos de Información en el Sistema de Control de Accesos**

En el diagrama anterior, se identifican los flujos de información que se establecen entre los actores humanos y materiales a lo largo del sistema. Aquí se pueden establecer los extremos de la comunicación, y los elementos que participan en el sistema de Control de Accesos para proporcionar todas las funcionalidades requeridas.