



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

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

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO | 4 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN | 4 |
| 10.14 PATIOS Y TALLERES | 4 |
| 10.14.1 Características funcionales | 4 |
| 10.14.1.1 Ubicación del patio-taller | 4 |
| 10.14.1.2. Predimensionado del patio-taller | 5 |
| 10.14.1.2.1. Organización del patio-taller | 5 |
| 10.14.1.2.2. Aspectos de mantenimiento | 5 |
| 10.14.1.3. Descripción general de las instalaciones de mantenimiento | 8 |
| 10.14.1.4. Requerimiento generales de diseño | 13 |
| 10.14.1.4.1. Generalidades | 13 |
| 10.14.1.4.2. Acceso y movimiento | 13 |
| 10.14.1.5. Dimensionamiento del patio-taller | 15 |
| 10.14.1.6. Layout del patio-taller | 16 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Plan Preliminar de mantenimiento del material rodante

Tabla 2. Plan de mantenimiento preliminar

Tabla 3. Vías de mantenimiento requeridas

Tabla 4. Tabla de instalaciones de mantenimiento

Tabla 5. Áreas del patio-taller

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área destinada para el Patio Taller en predio Fontanar del Rio

Figura 2. Flujo de trabajo ideal

Figura 3. Flujo de trabajo

Figura 4. Layout esquemático del patio-taller

Figura 5. Layout del patio-taller

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.14 PATIOS Y TALLERES

10.14.1 Características funcionales

10.14.1.1 Ubicación del patio-taller

Se seleccionó la ubicación del recinto para el patio-taller al nivel del predio “Fontanar del Río” localizado en el extremo occidental de la L2MB, entre el borde oriental del Río Bogotá y el borde urbano consolidado de la ciudad en la Localidad de Suba, entre la prolongación de la calle 144 y la diagonal 146.

El patio-taller se ubicará detrás de la Estación Fontanar (n°11), ubicación ideal que limita el movimiento de trenes en vacío.

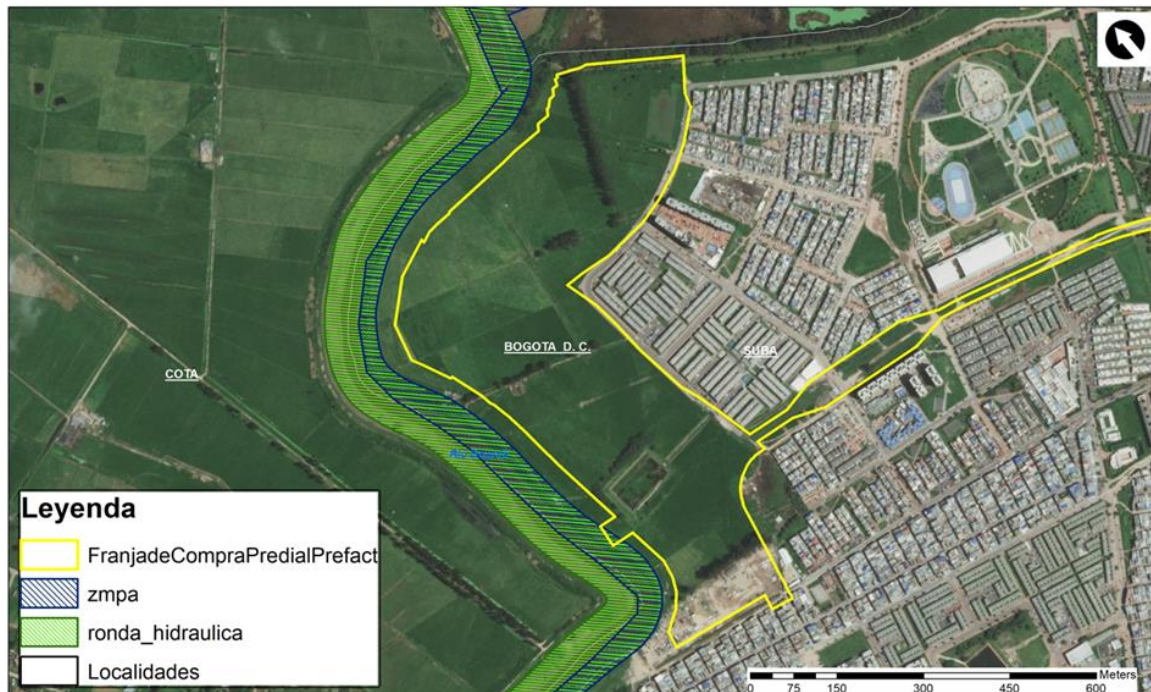


Figura 1. Ubicación del área destinada para el Patio Taller en predio Fontanar del Río
Fuente MOVIUS

10.14.1.2. Predimensionado del patio-taller

El predimensionado del patio-taller está definido por los siguientes elementos:

- Datos relacionados con el material rodante
- Datos operativos
- Datos relacionados con la infraestructura del proyecto
- Organización de las actividades de mantenimiento
- Organización y dotación de personal de los talleres

10.14.1.2.1. Organización del patio-taller

Los talleres estarán abiertos 24h / 24 y 7 días / 7, pero durante los fines de semana y festivos la actividad se reducirá a una parte de las funcionalidades.

De manera conservadora para el predimensionado del taller el número considerado de días de apertura en un año, para el proceso de dimensionamiento es de 262 días.

El número de turnos de trabajo considerados por actividad es el siguiente:

- Limpieza: 1 x 8h
- Mantenimiento Ligero y Almacén: 2 x 8h
- Mantenimiento Pesado: 1 x 8h
- Administración del taller: 1 x 8h
- Supervisión de la operación del taller: 2 x 8 h
- Seguridad: 3 x 8h

El número de personal requerido para las operaciones en los talleres para el mantenimiento ligero del material rodante está definido por el Plan Preliminar de Mantenimiento del proyecto.

10.14.1.2.2. Aspectos de mantenimiento

Siguiendo las recomendaciones del PMP. Se sugiere organizar el mantenimiento de la siguiente manera el mantenimiento rutinario (o ligero) para los niveles 1 a 3 y en mantenimiento mayor (nivel 4, mantenimiento de ciclo largo y nivel 5, modificaciones para modernización) según la clasificación dada según la norma EN 13306. Esto permite determinar la infraestructura requerida para llevar a cabo las labores de mantenimiento

El mantenimiento rutinario del material rodante se refiere a operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo.

Para el Material Rodante las actividades de mantenimiento incluyen, pero no se limitan, a las tareas enumeradas en la tabla siguiente:

Tabla 1. Plan Preliminar de mantenimiento del material rodante

| Tipo de mantenimiento | | Tarea |
|---------------------------|---|---|
| Mantenimiento preventivo | Control visual diario | Inspección visual interior y exterior del tren Tiempo de inmovilización del tren <30min En Estacionamiento |
| | Operación de mantenimiento de seguridad | Prueba, inspección, adicional y solución de problemas de los componentes relevantes para la seguridad como: <ul style="list-style-type: none"> - Bastidor del vehículo, - Frenos, - Juegos de ruedas, - Señales, - Parachoques, - Trenes... Tiempo de inmovilización del tren <4horas En Edificio de Mantenimiento Menor |
| | Operación de mantenimiento ligero | <ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de los componentes del equipo de control neumático y electroneumático, - Inspección de las características relevantes para la seguridad, inspecciones de radio y control remoto por radio, así como pruebas de funcionamiento estáticas y dinámicas, - Reperfilado de ruedas, - Lubricación, - Reparaciones menores. Tiempo de inmovilización del tren 1 – 2 días En Edificio de Mantenimiento Menor / Mayor |
| Mantenimiento patrimonial | Operación de mantenimiento pesado: revisión | <ul style="list-style-type: none"> - Sistema de puertas, posición de las ruedas: - Revisiones y pruebas de los componentes del equipo de control neumático y electroneumático, - Actualización y reequipamiento de los componentes de los frenos y del equipo interior, - Bogies Tiempo de inmovilización del tren: 1 – 2 meses En Edificio de Mantenimiento Mayor |
| | Operación de mantenimiento pesado: renovación | Renovación de: <ul style="list-style-type: none"> - Motores y componentes del sistema de accionamiento (engranaje de tracción...), - Bogies, - Sistemas de freno, - Chasis, |

| Tipo de mantenimiento | | Tarea |
|-----------------------|------------|--|
| | | <ul style="list-style-type: none"> - Sistemas electrónicos, - Sistemas hidráulicos, - Sistemas neumáticos, - Sistemas de alimentación, - Topes y engranajes de tracción. Tiempo de inmovilización del tren: 1 – 2 meses En Edificio de Mantenimiento Mayor |
| | Renovación | |

Para el predimensionado de las instalaciones se toma en cuenta el siguiente plan de mantenimiento:

Tabla 2. Plan de mantenimiento preliminar

| | Tipo de mantenimiento | Frecuencia | Duración díaa |
|----------------------|-----------------------|------------------|---------------|
| Mantenimiento ligero | Mensual | 10 000 | 0.5 |
| | Trimestral | 30 000 | 2.5 |
| | Anual | 120 000 | 4 |
| | Reperfilado | 120 000 | 1 |
| Mantenimiento pesado | Gran Revisión 1 | 4 años o 400 000 | 15 |
| | Gran Revisión 1 | 8 años o 800 000 | 30 |

Tomando en cuenta lo anterior se estima lo siguiente:

Tabla 3. Vías de mantenimiento requeridas


| Edificio | Vías requeridas |
|----------|-----------------|
| Cochera | - 30 vías |




| | |
|---------------------|--|
| Mantenimiento Menor | - 3 vías elevadas sobre pilotes |
| Mantenimiento Mayor | - 2 vías sobre losa - 1 vía de lavado técnico - 1 vía para pintura de trenes - 1 vía para baja bogies |
| Torno en foso | - 1 vía |



10.14.1.3. Descripción general de las instalaciones de mantenimiento

En relación con el cálculo de las vías de mantenimiento necesarias y las funciones a proporcionar, las instalaciones definidas a continuación deben estar presentes en el sitio del taller.




Tabla 4. Tabla de instalaciones de mantenimiento

| Edificio | Requerimientos | Actividad principal / Imagen de referencia |
|-------------------------------------|--|--|
| Cochera / Estacionamiento de trenes | 30 posiciones de estacionamiento para trenes de 145 m de largo: <ul style="list-style-type: none"> - 30 vías, 1 tren por vía - Área cubierta 1 área técnica para albergar personal y almacenar equipos de limpieza para el interior de los trenes~ 100m2 | Estacionamiento Actividad Secundaria: Limpieza interior de trenes  |
| Máquina de Lavado | 1 vía de lavado de trenes equipada con máquina de lavado <ul style="list-style-type: none"> - 1 área técnica al lado de la vía: ~100m2 - Debe tener vía libre a cada lado de la planta de lavado | Limpieza Exterior de trenes |

| Edificio | Requerimientos | Actividad principal / Imagen de referencia |
|--|--|---|
| | <p>equivalente a la longitud del tren (145m)</p> |  |
| <p>Limpieza reforzada</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de limpieza reforzada dentro y fuera de los trenes, para trenes de 145m de largo - Nota: Esta actividad puede realizarse en la zona de cochera. | <p>Limpieza reforzada Interior y Exterior de trenes</p>  |
| <p>Edificio de Mantenimiento Liger/Menor</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 3 vías de inspección para trenes de 145m de largo, para mantenimiento preventivo y correctivo: - 3 vías elevadas sobre postes (con plataformas de acceso al techo fijo) - Taller, almacén, otras áreas técnicas, oficinas ~ 500 m2 | <p>Mantenimiento Menor – niveles 1 a 3</p>  |
| <p>Torno en foso</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía especializada con un torno de foso para el perfilado de las ruedas. - Debe tener vía libre a cada lado de la planta equivalente a la longitud del tren (145m) - Área técnica para almacén de equipo ligero: 30 m2 | <p>Reperfilado de ruedas</p> |

| Edificio | Requerimientos | Actividad principal / Imagen de referencia |
|--|--|---|
| | |  |
| <p>Edificio de Mantenimiento Mayor</p> | <ul style="list-style-type: none"> - 2 vías de mantenimiento para mantenimiento preventivo y correctivo - 1 vía para la limpieza del bastidor - 1 vía para una cabina de pintura - Talleres para la revisión de componentes del tren, almacén, salas de personal para empleados y trabajadores. ~ 9000m2 | <p>Mantenimiento Mayor – niveles 4 a 5</p>  |

| Edificio | Requerimientos | Actividad principal / Imagen de referencia |
|---------------------|---|--|
| Sistema Baja Bogies | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de mantenimiento correctivo con sistema de sustitución de vía de bogie, - Debe tener vía libre a cada lado de la planta equivalente a la longitud del tren (145m) |  |
| Área de descarga | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía externa sobre losa de 60 m de longitud. - Esta función puede ubicarse en la zona de almacén externo | <p>Zona de descarga para trenes nuevos</p>  |
| | <ul style="list-style-type: none"> - Talleres y oficinas ~500 m2 - 2 vías de 100m para vehículos de mantenimiento de infraestructura, estacionamiento y formación de convoy - Área externa para carga y descarga de camiones - Almacén exterior ~500 m2 | <p>Mantenimiento de Infraestructura</p>  |

| Edificio | Requerimientos | Actividad principal / Imagen de referencia |
|-----------------------------|--|--|
| Almacén principal | <ul style="list-style-type: none"> - Almacén principal ~ 800 m2 |  |
| Vía de transferencia | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía de transferencia, cambio de conducción auto/manual |  |
| Otros | <ul style="list-style-type: none"> - Caminos, vigilancia, subestaciones, tanque de agua, planta de tratamiento, etc. |  |
| Vía de Pruebas ¹ | <ul style="list-style-type: none"> - Vía para prueba dinámica de trenes, en función de las características del material rodante, min 800m | |

¹ El tamaño y la forma del recinto del patio-taller no permite la integración de una vía de pruebas. En este sentido, las pruebas se realizan en línea (tramo recto y llano de +/1 km). Se propone para ese fin el uso de la sección de vía ubicada entre las estaciones 9 y 10 que corresponde con estos criterios.

10.14.1.4. Requerimiento generales de diseño

10.14.1.4.1. Generalidades

El taller debe estar diseñado para optimizar su funcionalidad, el flujo de vehículos y componentes y la seguridad. Al tener en cuenta todas las actividades que se llevarán a cabo, la organización de los elementos entre ellas debe permitir responder a sus diferentes funcionalidades.

El diseño de las instalaciones debe tener en cuenta:

- Reducir las distancias y facilitar los accesos entre las distintas zonas interdependientes, por ejemplo, las zonas para desmontar equipos en el techo, su área de reparación y almacenamiento
- Evitar las interferencias entre flujos independientes
- Permitir operaciones robustas y flexible (redundancia de acceso al depósito, vía de reserva, posibilidad de añadir equipos)
- Optimizar la comodidad de las áreas de trabajo (iluminación natural, insonorización)
- Reducir el impacto del taller en su entorno, en particular la contaminación acústica
- Optimizar los equipos de mantención y edificios para limitar las inversiones

10.14.1.4.2. Acceso y movimiento

El sitio debe permitir:

- Conexión a vías principales y movimiento de trenes
- Áreas de tránsito seguras para el transporte y manejo de vehículos
- Zonas de tránsito seguro para personal autorizado
- Zonas de tránsito, estacionamiento y descarga de vehículos de carretera

El flujo de tránsito ideal se describe de la siguiente manera:

- El objetivo del mantenimiento es asegurar la disponibilidad de los trenes, sin fallas, para operación. Por eso, el tiempo de inmovilización que el tren pasa en el taller tiene que ser optimizado.
- Los itinerarios los más frecuentes son:
 - Línea principal ↔ Cochera
 - Línea principal ↔ Mantenimiento Menor
 - Cochera ↔ Mantenimiento Menor
 - Cochera ↔ Mantenimiento Mayor
 - Mantenimiento Menor ↔ Mantenimiento Mayor
 - Línea principal ↔ Mantenimiento de Infraestructuras
 - Para optimizar el tiempo de indisponibilidad de los trenes, estos itinerarios deben tener una conexión directa.

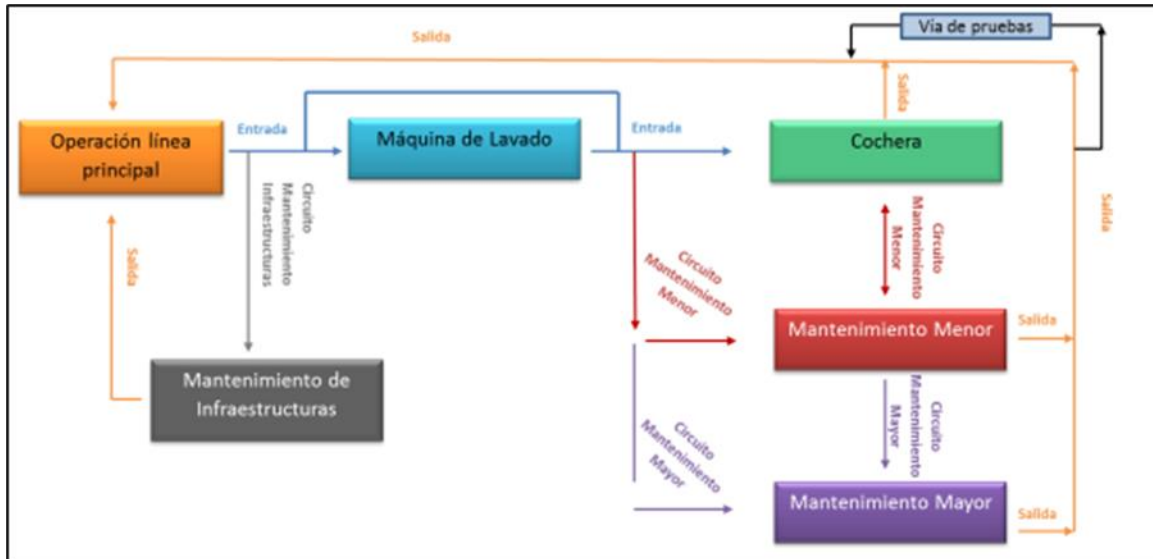


Figura 2. Flujo de trabajo ideal

Considerando el modo de operación de la línea este flujo debe ser segregado como se muestra a continuación:

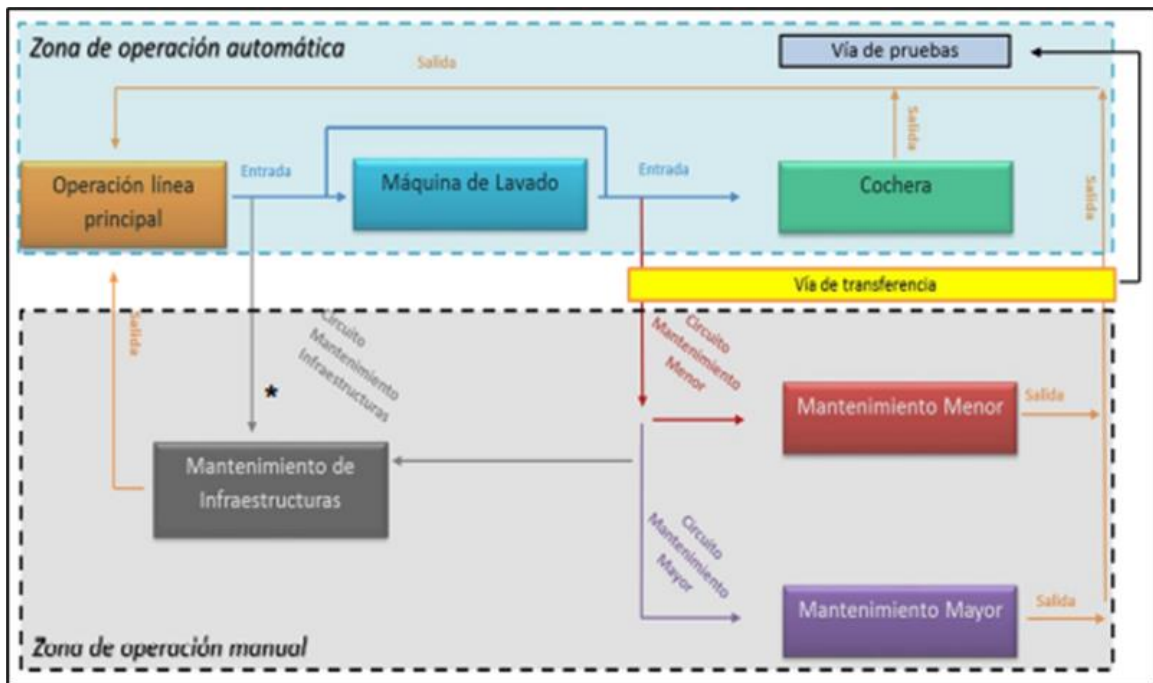


Figura 3. Flujo de trabajo

10.14.1.5. Dimensionamiento del patio-taller

En la base de las hipótesis descritas anteriormente, se han calculado las necesidades de superficie e infraestructuras para el Patio Talleres:

Tabla 5. Áreas del patio-taller

| Edificio / Área | Superficie | Características |
|--|-------------------------|---|
| 1. Cochera | ~ 30 000 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - Capacidad: 30 vías de 1 tren - Dimensiones: 185 x 164 m - Almacén de productos de limpieza y oficinas para operadores de limpieza |
| 1.1 Vía de Lavado Intensivo | ~ 1 400 m ² | |
| 2. Torno de Foso | ~ 700 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía con torno de foso, se indica medida de área que alberga el equipo - A nivel de vía se requiere, longitud libre delante y detrás del área técnica equivalente a la longitud de 1 tren (145) |
| 3. Taller de Mantenimiento Menor | ~ 6 000 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - 3 vías sobre pilotes - Superficie salas técnicas: ~2000 m² |
| 4. Taller de Mantenimiento Mayor | ~ 18 000 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - 2 vías embebidas - 1 vía de baja bogies - 1 vía de limpieza técnica - Provisión vía de pintura - Superficie talleres: 9 300 m² + - Superficie línea de bogies: ~2 500 m² |
| 5. Taller de Mantenimiento de las Infraestructuras | ~ 6 100 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía sobre pilotes - 1 vía embebida - 2 vías de cochera para vehículos auxiliares |

| Edificio / Área | Superficie | Características |
|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| 6. Máquina de Lavado | ~ 560 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - 1 vía con máquina de lavado + 1 vía bypass - Edificio del Local Técnico (200 m²) |
| 7. Vía de pruebas ² | | <ul style="list-style-type: none"> - Longitud de la vía: min 890 m |
| 8. Almacén | ~ 1 500 m ² | <ul style="list-style-type: none"> - Estantería de almacenamiento - equipos pesados |
| 9. Administración | ~ 700 m ² (área planta) | <ul style="list-style-type: none"> - Oficinas, salas de reunión, etc. |
| 10. Otros locales técnicos | > 6 000m ² | <ul style="list-style-type: none"> - Tanque de Agua~ 500m² - Planta de Tratamiento ~ 1 000m² - Subestación de Tracción y Centro de Transformación ~ 650 m² - Estación de Servicio ~ 50 m² - Estacionamiento ~ 3 600m² |

10.14.1.6. Layout del patio-taller

En la base de las hipótesis descritas anteriormente y de las necesidades de superficie e infraestructuras, se determinó el layout del patio-taller:

² El tamaño y la forma del recinto del patio-taller no permite la integración de una vía de pruebas. En este sentido, las pruebas se realizan en línea (tramo recto y con pocos desniveles de ~1 km). Se propone para ese fin el uso de la sección de vía ubicada entre las estaciones 9 y 10 que corresponde con estos criterios.

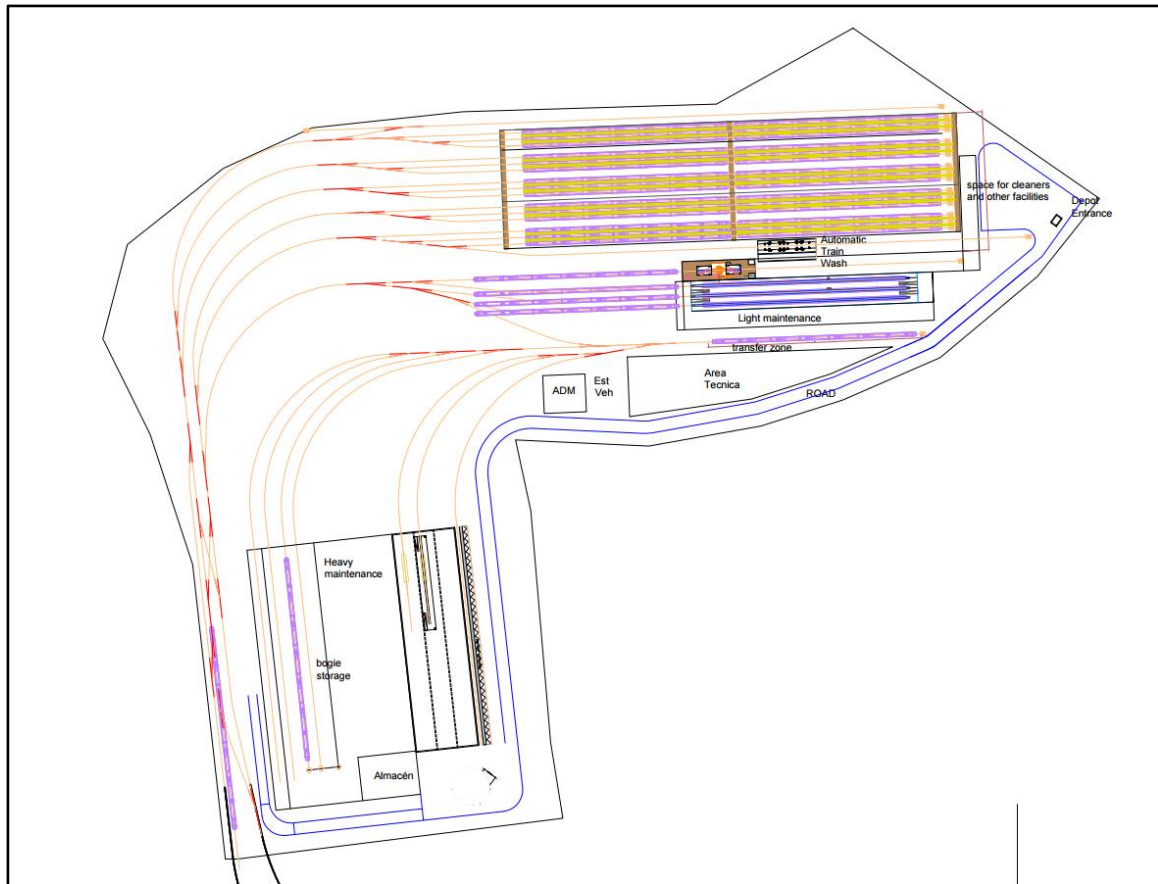


Figura 4. Layout del patio-taller



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

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

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



CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | Indicadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| | | | |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

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

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO | 4 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN | 6 |
| 10.14.1 Geotecnia | 6 |
| 10.14.1.1 Aspectos generales | 6 |
| 10.14.1.1.1 Antecedentes estudio de prefactibilidad L2MB | 7 |
| 10.14.1.1.2 Antecedentes estudio estructuración técnica - PLMB | 8 |
| 10.14.1.2 Criterios de diseño | 8 |
| 10.14.1.2.1 Criterios y metodologías para el análisis de estabilidad de taludes. | 8 |
| 10.14.1.2.2 Criterio y Metodología para la evaluación de la capacidad portante del suelo de fundación | 9 |
| 10.14.1.2.3 Criterio y Metodología para la evaluación de asentamientos. | 10 |
| 10.14.1.3 Analisis Geotecnicos | 10 |
| 10.14.1.3.1. Aspectos claves para los diseños de factibilidad | 10 |
| 10.14.1.3.2 Caracterización geotécnica y geológica de geomateriales. | 11 |
| 10.14.1.3.3. Análisis de alternativas | 13 |
| 10.14.1.3.3.1. Alternativa 1: Relleno convencional terraplén (5,5 m) | 13 |
| 10.14.1.3.3.2. Alternativa 2: Rellenos ligeros (Cenizas) | 18 |
| 10.14.1.3.3.3. Alternativa 3: Implementación de precargas más mechas drenantes | 18 |
| 10.14.1.3.3.4. Alternativa 4: Rellenos con geobloques | 19 |
| 10.14.1.3.3.5. Alternativa 5: Rellenos aligerados (Convencional+Ceniza) + Inclusiones rígidas | 19 |
| 10.14.1.3.3.6. Análisis de alternativas. | 20 |
| 10.14.1.4 Descripción de la solución técnica adoptada | 21 |
| 10.14.1.5 Recomendaciones | 22 |
| 10.14.1.6 Representación de los costos de la solución técnica propuesta | 23 |
| 10.14.2.6.1 Ítems evaluados en geotecnia | 23 |
| 10.14.2 Pavimentos | 25 |
| 10.14.2.1 Descripción Vías | 25 |
| 10.14.2.2 Criterios y Metodologías de diseño de pavimentos | 26 |
| 10.14.2.2.1 Pavimento Flexible | 26 |
| 10.14.2.2.2 Pavimento Rígido | 33 |
| 10.14.2.2.3 Espacio Público | 35 |
| 10.14.2.3 Diseño de Pavimentos | 37 |
| 10.14.2.3.1 Vía Perimetral | 37 |
| 10.14.2.3.2 Vías Internas y Parqueaderos | 38 |
| 10.14.2.3.3 Andenes y Cicloruta | 39 |
| 10.14.3 Conclusiones | 41 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Factores de seguridad mínimos. Tabla H.2.4-1 NSR-10

Tabla 2. Factores de seguridad mínimos requeridos Tomado de NSR-10 de la Tabla H.4.7-1

Tabla 3. Valores máximos de asentamientos diferenciales expresados en función de distancia entre apoyos Tabla H.4.9-1 NSR-10

Tabla 4. Descripción geológica de la estratigrafía del Patio Taller

Tabla 5. Resumen de alternativas rellenos Patio taller.

Tabla 6. Ítems CAPEX para obras geotécnicas patio taller L2MB

Tabla 7. Temperaturas mensuales del aire y factores de ponderación del método SHELL

Tabla 8. Módulos Capas Granulares

Tabla 9. Parámetros de entrada al método AASHTO

Tabla 10. Tipos de Subrasante Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

Tabla 11. Mejoramiento del Suelo de Subrasante- Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

Tabla 12. Ítems CAPEX para obras de pavimentos en el patio taller L2MB

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ÁREA DE PROYECCIÓN DE OBRAS PATIO TALLER FUENTE: SYSTRA

FIGURA 2. IMPLANTACIÓN DE ESTRUCTURAS PROYECTADAS EN EL PATIO TALLER. FUENTE: SYSTRA

FIGURA 3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA

FIGURA 4. ASENTAMIENTOS EN EL TIEMPO EJE 3.

FIGURA 5. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS RELLENO CONVENCIONAL H=5,50M, PERIODO DE DISEÑO 75 AÑOS.

FIGURA 6. INCLINACIONES GENERADAS POR EL TERRAPLÉN. EJE 3.

FIGURA 7. AFECTACIONES EJE 3 DE ANÁLISIS

FIGURA 8. AFECTACIONES EJE 2 DE ANÁLISIS

FIGURA 9. AFECTACIONES EJE 1 DE ANÁLISIS

FIGURA 10. AFECTACIONES EJE B DE ANÁLISIS

FIGURA 11. AFECTACIONES EJE A DE ANÁLISIS

FIGURA 12. ASENTAMIENTOS INMEDIATOS Y PERIODO DE DISEÑO ALTERNATIVA 5

FIGURA 13. ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES ALTERNATIVA 5

FIGURA 14. ESQUEMA VÍA PERIMETRAL PATIO TALLER

FIGURA 15. VISTA EN PLANTA DE LAS VÍAS INTERNAS Y PARQUEADEROS

FIGURA 16. VISTA EN PLANTA DE LOS ANDENES INTERNOS Y EXTERNOS

FIGURA 17. CURVA DE PONDERACIÓN DE TEMPERATURA

FIGURA 18. RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA EFECTIVA DE LAS CAPAS ASFÁLTICAS Y DE LA MEZCLA.

FIGURA 19. MÓDULO DE MEZCLA TIPO MD-12

FIGURA 20. COEFICIENTE DE APORTE. MEZCLA TIPO MD-12

FIGURA 21. PARÁMETROS CAPAS GRANULARES. A) SUBBASE GRANULAR B) BASE GRANULAR

FIGURA 22. CARGAS CARGADOR

FIGURA 23. ESTRUCTURA DE ANDÉN PARA SUBRASANTE TIPO S1 Y CRITERIO DE DISEÑO 3

FIGURA 24. ESTRUCTURA DE ANDÉN PARA SUBRASANTE TIPO S2 Y CRITERIO DE DISEÑO 3

FIGURA 25. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LAS VÍAS EXTERNAS DEL PATIO TALLER

FIGURA 26. MODELO REALIZADO

FIGURA 27. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO PARA LAS VÍAS INTERNAS DEL PATIO TALLER

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.14.1 Geotecnia

10.14.1.1 Aspectos generales

El Patio Taller está ubicado en el sector noroccidental de la ciudad de Bogotá sobre el predio denominado *Fontanar del río*; este está delimitado al sur por la Diagonal 151 entre transversal 141 A bis y la carrera 147, al este por la carrera 147 entre la diagonal 151 a calle 145 y limitado al norte y occidente por el jarillón del río Bogotá. El jarillón posee una cota máxima de 2546,5, el terreno se emplaza aproximadamente en la cota 2542 msnm, por otro lado el desarrollo geométrico del trazado de la vía ferroviaria alcanza la cota 2547,5.

El terreno cuenta con un área útil de aproximadamente 33 ha y en su interior se ubica un pondaje de la Empresa de Acueducto y Alcantarillados de Bogotá (EAAB), como se puede observar en la Figura 1.

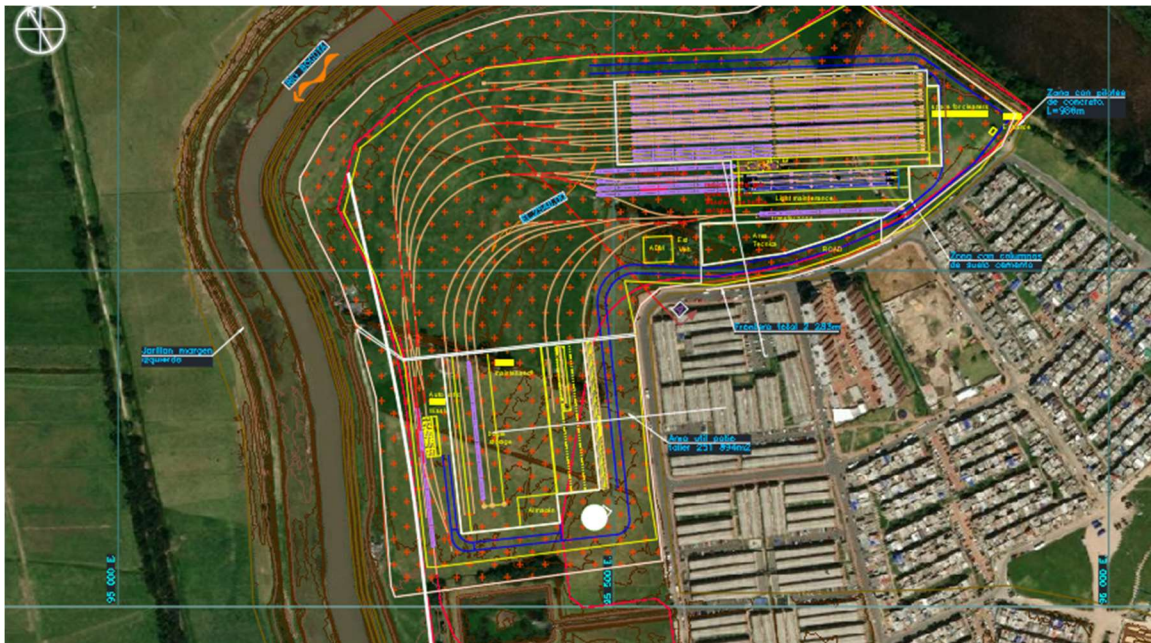


Figura 1. Área de proyección de obras patio taller
Fuente: Systra

Tal como se observa en la Figura 2, el taller contendrá dentro del diseño el siguiente esquema operacional de funcionamiento: Una zona de operación automática que contará con la *línea de operación principal*, la *máquina de lavado* por el cual los coches podrán acceder o traspasar de acuerdo a los requerimientos de servicio, para posteriormente acceder a la cochera donde se almacenarán los vehículos cuando estén fuera de servicio, de forma paralela se ubicarán las vías de prueba con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los trenes. Por otra parte

está la zona de operación manual, la cual contará con zonas de mantenimiento menor, mayor y de infraestructura. La propuesta inicial para dicha operación contará con el siguiente esquema de edificaciones de un nivel.

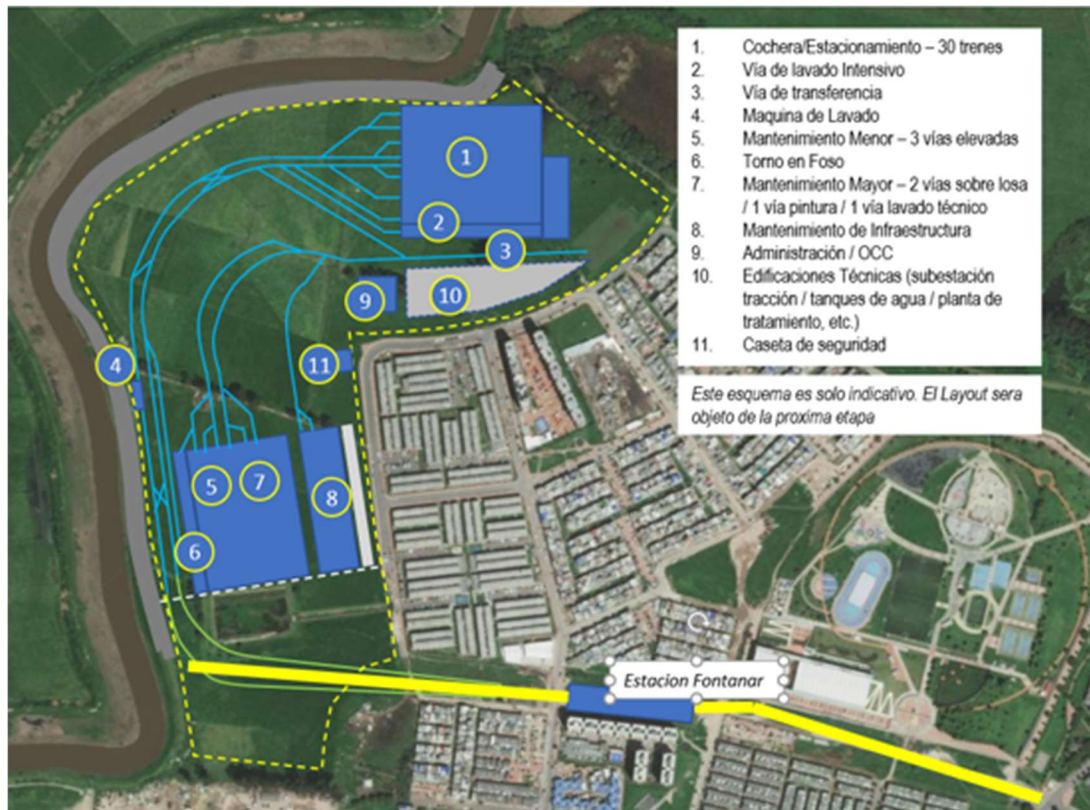


Figura 2. Implantación de estructuras proyectadas en el patio taller.

Fuente: Systra

El sitio está sectorizado dentro de la microzonificación sísmica de Bogotá como tipo de suelo Lacustre 500, (Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba) con periodo fundamental entre 4,5s y 6,5s, velocidades de onda de corte menores a 175 m/s y humedades superiores a 80%. Por otra parte para la clasificación geotécnica el patio taller se encuentra en llanura A, Suelo de llanura-lacustre descrita como una composición de Arenas sueltas y arcillas limosas blandas, de moderada capacidad portante y compresibles, susceptibles a licuación (Ver Figura 3).

El sector está clasificado con una alta amenaza de inundación al estar ubicado en cercanías del margen del río Bogotá, por otra parte para el IDIGER no se encuentra ninguna amenaza importante de deslizamiento, teniendo en cuenta la topografía relativamente horizontal.

10.14.1.1.1 Antecedentes estudio de prefactibilidad L2MB

Entre las conclusiones del estudio de prefactibilidad, en lo referente al Patio Taller están:

- *“Posteriormente se configura el nodo de terminación, mediante la incorporación de diferentes opciones de localización de Patio Taller y se adelantó igualmente, una evaluación multicriterio del trazado, incluyendo en la evaluación el tramo de la Avenida Longitudinal de Occidente ALO, entre Av. Cali y Av. Suba, el cual arrojó como resultado para el nodo de terminación, el proyecto de expansión priorizado (PMLB-T2) con terminación en el polígono “Fontanar del Río”, en el cual se implantará el Patio Taller”.*
- *Se describe el perfil del subsuelo en este predio de la siguiente manera: “... un perfil bastante homogéneo, compuesto por arcillas o arcillas con escaso contenido de limos con un muy alto nivel de plasticidad (promedio de 93% de índice de plasticidad) y condiciones de humedad altas (humedad promedio de 103% con picos de hasta 242%), favorecidas por la presencia de humedales en el inicio de la zona III...”.*
- *En términos de amenazas de origen natural el estudio de prefactibilidad reporta: “La zona del cruce del humedal Juan Amarillo es, de acuerdo con IDIGER (2010) una de las zonas del recorrido sujeta a amenazas de inundación, junto con la zona de implantación del Patio Taller”. Reportan también: “Esta zona (Juan Amarillo) también puede presentar sectores de presiones artesianas, asociadas con la presencia de la Falla Usaquén – Juan Amarillo”.*
- *De las necesidades de caracterización reportan: “Se necesitará aumentar la densidad de exploración en zonas especiales...y en el patio taller en donde puede requerirse utilizar técnicas especiales de mejoramiento del terreno (por ejemplo: columnas de grava, precarga con mechas drenantes, inserciones rígidas, sistemas de pilotes de suelo cemento o suelo cal, o similares)”.*
- *La solución de mejoramiento que se plantea a nivel de prefactibilidad es: “Se ha estimado la necesidad de colocar mechas drenantes cada 2 m al tresbolillo, con profundidad de 15 m. La precarga podría adelantarse*

10.14.1.1.2 Antecedentes estudio estructuración técnica - PLMB

Después de un análisis de varias combinaciones la conclusión es que el sistema óptimo para este sitio consiste en la utilización de pilotes DCM de 20 m de profundidad, 50 cm de diámetro y separados 2,5 m centro a centro. El criterio para llegar a esa conclusión fue el desempeño en términos de los asentamientos diferenciales entre diferentes puntos de la plataforma.

10.14.1.2 Criterios de diseño

Los criterios de diseño contemplaron los siguientes ítems que hacen parte del Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NSR-10):

- Evaluación de capacidad portante siguiendo los lineamientos especificados en el título H.4.7.1 para capacidad portante de cimentaciones superficiales y en el título H.4.7.2 para cimentaciones profundas.
- Asentamientos diferenciales máximos contemplados en el título H.4.9.3.
- Asentamientos totales para un periodo de 20 años contemplados en el título H.4.9.2.
- Factores de seguridad de estabilidad de taludes contemplados en el título H.5.2

10.14.1.2.1 Criterios y metodologías para el análisis de estabilidad de taludes.

Como criterio general para la definición de los taludes de relleno se seleccionaron las configuraciones geométricas críticas para el terraplén del patio taller.

Las secciones transversales empleadas en los análisis de estabilidad del presente estudio se escogieron con base en los criterios de topografía dado que la complejidad geológica y el tipo de material se consideran homogéneos en el sector.

El análisis de estabilidad de los taludes se realiza mediante la metodología de equilibrio límite. La sección H.5 de la NSR-10 establece los requerimientos mínimos de estabilidad que deben considerarse para excavaciones y estabilidad de taludes. Los factores de seguridad mínimos que deberán cumplir los diseños de los taludes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de seguridad mínimos. Tabla H.2.4-1 NSR-10

| Condición | F_{SBM} | | F_{SBUM} | |
|--|-----------|--------------|---------------|---------------|
| | Diseño | Construcción | Diseño | Construcción |
| Taludes - Condición estática y agua subterránea normal | 1,50 | 1,25 | 1,80 | 1,40 |
| Taludes - Condición Seudo-estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño | 1,05 | 1,00 | No se permite | No se permite |

Los análisis de estabilidad para la condición de sismo se realizaron mediante el método pseudoestático, involucrando una fuerza inercial adicional que depende de la aceleración sísmica horizontal. Los coeficientes sísmicos de diseño que se consideran para el análisis pseudo-estático de taludes se tomaron con base en el criterio establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título H.

Para los taludes constituidos por suelos, la evaluación de la estabilidad general de taludes se realizó mediante el método de equilibrio límite con las ecuaciones propuestas por Spencer en el programa SLIDE de Rocscience. El método de Spencer satisface las ecuaciones de equilibrio de momentos y de fuerzas en las dovelas y supone que las fuerzas son paralelas entre sí. Las ecuaciones se resuelven para el factor de seguridad y la inclinación de las fuerzas mediante un procedimiento iterativo hasta alcanzar un nivel de error residual tolerable. El método es el procedimiento de equilibrio más completo y sencillo para el cálculo del factor de seguridad y se considera preciso para la mayoría de geometrías de talud y estratigrafías.

10.14.1.2.2 Criterio y Metodología para la evaluación de la capacidad portante del suelo de fundación

La capacidad de carga admisible del terreno corresponde a la capacidad de carga última dividida por un factor de seguridad. Para los terraplenes se analizará en condición de análisis estático y de carga viva normal para el cual el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 indica los factores de seguridad aplicables presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de seguridad mínimos requeridos Tomado de NSR-10 de la Tabla H.4.7-1

| Condición | Factor de seguridad |
|----------------------------------|---------------------|
| Carga Muerta + Carga Viva Normal | 3,00 |

10.14.1.2.3 Criterio y Metodología para la evaluación de asentamientos.

Para el control de daños en redes internas se limitan asentamientos de 30cm para estructuras aisladas para un periodo de diseño de 20 años.

Por otro lado, para la evaluación de efectos causados por asentamientos diferenciales la NSR 10 presenta la siguiente tabla de acuerdo a los tipos de estructuras afectadas.

Tabla 3. Valores máximos de asentamientos diferenciales expresados en función de distancia entre apoyos Tabla H.4.9-1 NSR-10

| Tipo de construcción | Δ_{max} |
|--|------------------|
| (a) Edificaciones con muros y acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores | $\frac{l}{1000}$ |
| (b) Edificaciones con muros de carga en concreto o en mampostería | $\frac{l}{500}$ |
| (c) Edificaciones con pórticos en concreto, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores | $\frac{l}{300}$ |
| (d) Edificaciones en estructura metálica, sin acabados susceptibles de dañarse con asentamientos menores | $\frac{l}{160}$ |

De acuerdo a las condiciones vistas en campo el ítem (b) corresponde a los tipos de estructuras más representativos del área de estudio, dichas deformaciones angulares corresponden a un valor de 0,002m/m.

10.14.1.3 Análisis Geotécnicos



Teniendo en cuenta los aspectos hidrológicos y geotécnicos de la zona de estudio y la necesidad de emplear el área disponible en casi su totalidad para el complejo férreo, se estableció que los rellenos necesarios para la construcción del terraplén y las instalaciones del patio taller se planean elevar a la cota 2546,5 msnm, el cual constituye la cota máxima del jarillón para el sector, se cuenta con una altura media aproximada de 4,50 m. Con el fin de evitar inundaciones la altura del relleno deberá extenderse en todo el perímetro del área licenciada considerando las restricciones propias de los cuerpos hidráulicos cercanos. Con respecto a las características del subsuelo y teniendo en cuenta la magnitud de los rellenos del terraplén proyectado y los estudios de referencia realizados para la estructuración patio taller de la primera línea del metro (ET-PLMB), se puede establecer la necesidad de implementar un sistema de mejoramiento del subsuelo, el cual debe mitigar principalmente el efecto de los asentamientos diferenciales en el cuerpo propio del terraplén para el funcionamiento adecuado de las vías férreas e instalaciones y mitigar los efectos sobre edificaciones vecinas localizadas al costado oriental del área de desarrollo. Adicionalmente, el sistema de mejora debe generar una densificación de los materiales superficiales y reducir la susceptibilidad de los mismos a efectos de pérdida de resistencia por esfuerzos de corte inducidos por eventos sísmicos.

10.14.1.3.1. Aspectos claves para los diseños de factibilidad

Los puntos a tener en cuenta para los análisis geotécnicos, están encaminados en la evaluación y control de los siguientes puntos:

- Evaluación de capacidad portante para diseño.
- Control de asentamiento diferencial al interior de la conformación del terraplén
- Disminución de los asentamientos totales en los rellenos y verificación de niveles de inundación
- Control de afectación por asentamientos diferenciales en construcciones aledañas
- Evaluación de estabilidad de taludes en las fronteras del terraplén



10.14.1.3.2 Caracterización geotécnica y geológica de geomateriales.

De las exploraciones ejecutadas en el área de estudio se han encontrado depósitos aluviales y antrópicos en los primeros 10,0 m los cuales suprayace materiales de matriz arcillosa de origen lacustre.

Los ensayos de caracterización reflejan capas granulares clasificadas como arenas de mala gradación en la parte más somera, a continuación se han encontrado capas arcillosas con límites plásticos entre 30 y 60 mientras el límite líquido varía entre 90 y 160 con índices de plasticidad cuyo rango está entre 60 y 110. Se observa una disminución de estos límites con la profundidad (ver Figura 3).



De los ensayos de deformabilidad se han encontrado los siguientes valores promedio para los índices de deformabilidad

- Índice de compresibilidad virgen C_c entre 0,70 y 1,50
- Índice de recompresión (hinchamiento) C_r entre 0,09 y 0,21
- Relación de vacíos inicial de 2,4
- Relación de sobreconsolidación máxima de 2.0 en la parte más somera a 1.25 a profundidades superiores a 40.0m

Finalmente los parámetros de resistencia se observa un incremento de resistencia lineal con la profundidad a través del ensayo de cono (CPT) que se ve igualmente reflejado en los ensayos del dilatómetro (DMT) y veleta (VST) obteniendo valores que oscilan entre los 45 kPa y 110 kPa (a 10.0m y 55,0 m de profundidad respectivamente) (ver Figura 3).

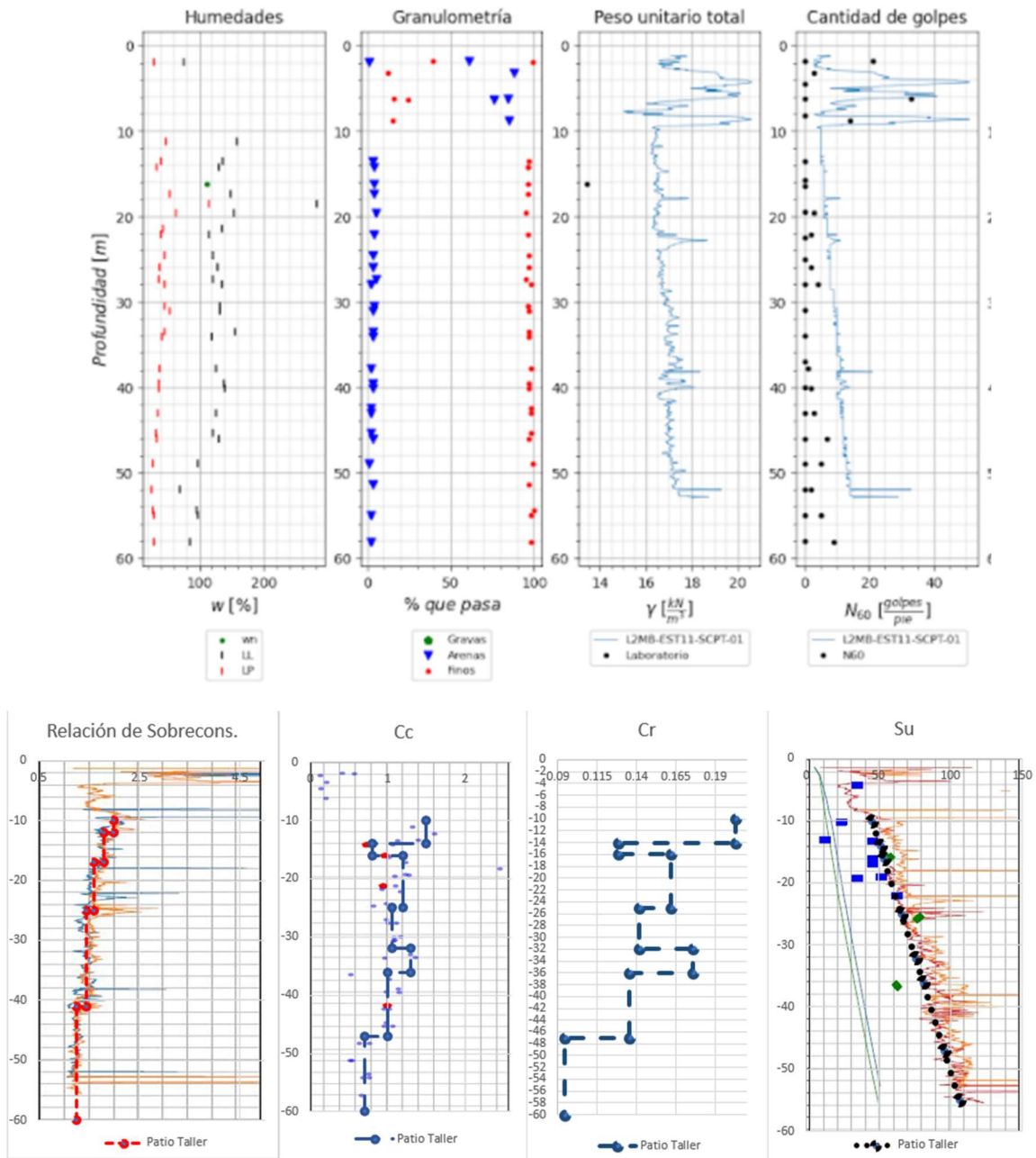


Figura 3. Resultados de ensayos de caracterización física y mecánica

Geológicamente las muestras obtuvieron la siguiente caracterización.

Tabla 4. Descripción geológica de la estratigrafía del Patio Taller

| Estrato | Profundidad inicial (m) | Profundidad final (m) | Descripción |
|---------|-------------------------|-----------------------|-------------|
|---------|-------------------------|-----------------------|-------------|

| | | | |
|---|------|------|---|
| 1 | 0,0 | 1,0 | Lodo orgánico Negro con abundante Materia Orgánica diseminada y presencia de restos vegetales y raíces. Consistencia dura. Seco |
| 2 | 1,0 | 10,0 | Arenas de grano fino, compuesta por cuarzo (85%), minerales máficos o líticos oscuros (10%) y mica muscovita (5%). |
| 3 | 10,0 | 11,0 | Intercalación de arenas cuarzosas de grano fino con arcillas. Las arcillas son plásticas, de consistencia media y moderadamente húmedas |
| 4 | 11,0 | 47,8 | DEPÓSITO LACUSTRE (Qta) Arcilla color verde oliva, consistencia dura, seca, con plasticidad con intercalaciones de arcilla de consistencia media y blanda, humedad media, baja plasticidad. |
| 5 | 47,8 | 47,9 | Nivel de ceniza volcánica de grano fino a muy fino. Deleznable. |
| 6 | 47,9 | 60 | DEPÓSITO LACUSTRE (Qta) Arcilla color verde oliva, consistencia dura, seca, con plasticidad con intercalaciones de arcilla de consistencia media y blanda, humedad media, baja plasticidad. |

De los resultados de caracterización anteriormente mencionados se proporcionan los parámetros de diseño utilizados en el diseño de deformabilidad y resistencia.

10.14.1.3.3. Análisis de alternativas

Se realizó el respectivo análisis geotécnico para diferentes alternativas de relleno del patio taller, las cuales se listan a continuación:

- Alternativa 1: Relleno convencional terraplén (5,5m).
- Alternativa 2: Rellenos ligeros (Cenizas).
- Alternativa 3: Relleno aligerados terraplén (5,5m) + Precarga + Mechas drenantes.
- Alternativa 4: Rellenos con geobloques.
- Alternativa 5: Rellenos aligerados (Convencional+Ceniza) + Inclusiones rígidas.

10.14.1.3.3.1. Alternativa 1: Relleno convencional terraplén (5,5 m)

Esta alternativa consiste en la conformación de rellenos con material convencional tipo INVIAS, donde la carga provista por estos rellenos y las estructuras sobre los mismos generarían una presión de contacto sobre el suelo aproximada de 120 kPa. Con esta presión y las dimensiones del área donde se proyectan los rellenos se estimó un asentamiento de

2,10 m para un periodo de diseño de 75 años. En la Figura 6 se presentan las curvas de asentamientos para una sección típica representativa (Sección 3, Figura 5).

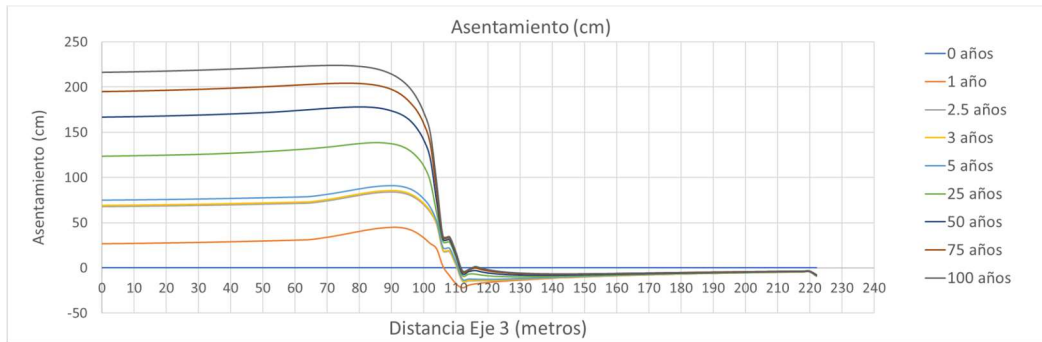


Figura 4. Asentamientos en el tiempo Eje 3.

En la Figura 5 se presentan los contornos de los asentamientos que se generarían con la implementación de esta alternativa, a partir de los cuales se puede establecer una influencia aproximadamente en una distancia de 26 m respecto al perímetro de los rellenos, con lo cual se generarían afectaciones importantes en las edificaciones cercanas, localizadas al costado occidental y sur del patio taller.

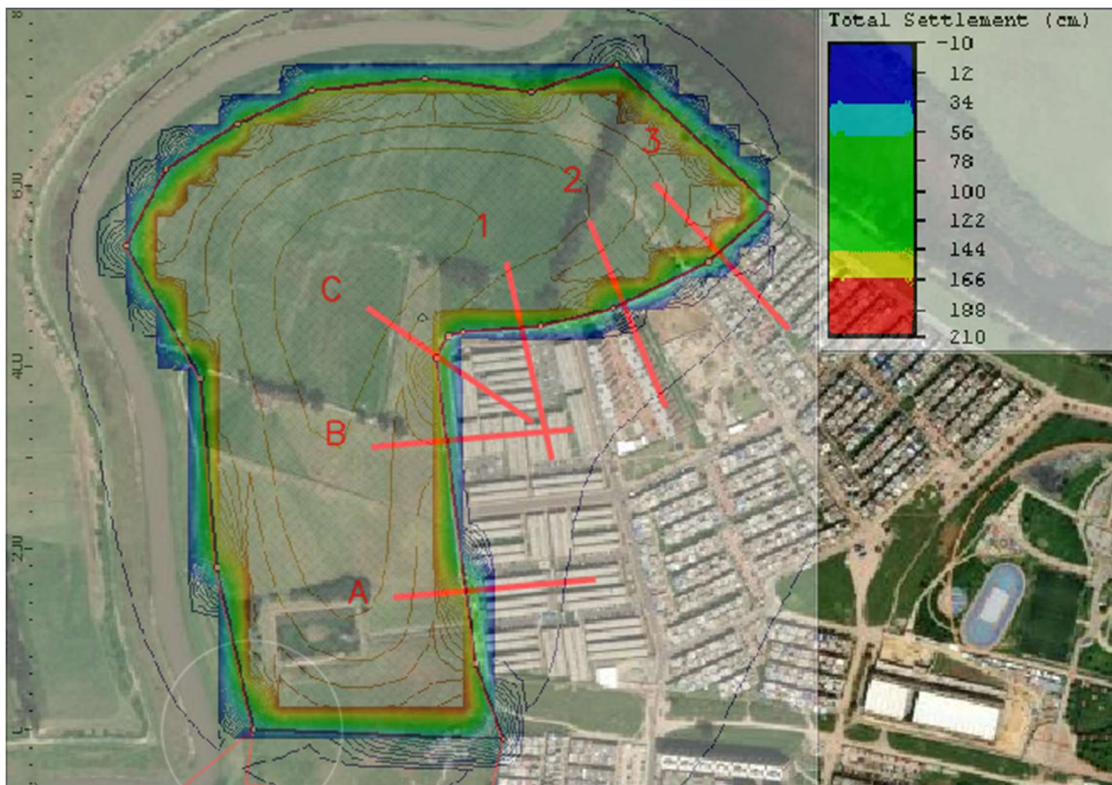


Figura 5. Análisis de asentamientos relleno convencional H=5,50m, periodo de diseño 75 años.

Por otra parte, las distorsiones angulares superarían los límites tolerables establecidos por la NSR-10 H.4.9-1 (Ver Tabla 3) en franja de 15 m aproximadamente con relación al perímetro de las estructuras existentes (Ver

Figura 7), tomando como referencia un nivel de afectación crítico cuando los asentamientos diferenciales superan inclinaciones de 0,002 m/m, la cual se presenta como limitación para estructuras de mampostería confinada y muros.

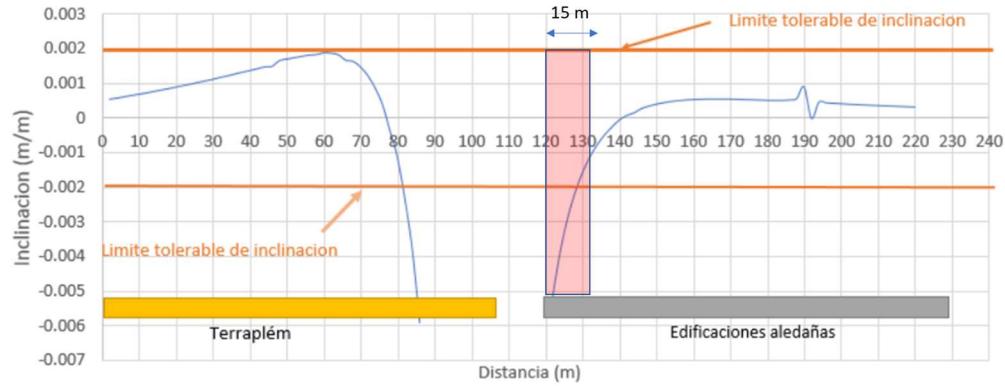


Figura 6. Inclinaciones generadas por el terraplén. Eje 3.

De la Figura 7 a la Figura 11 se presenta una vista en perfil de la localización del patio taller y las estructuras cercanas, a partir de las cuales se puede establecer las distancias desde el perímetro de los rellenos proyectados para el patio taller a las edificaciones. A partir de estas figuras se puede observar la cercanía de los rellenos proyectados y el tipo de edificaciones que se afectarían por asentamientos y distorsiones angulares. La localización de las secciones se presenta en la Figura 5.

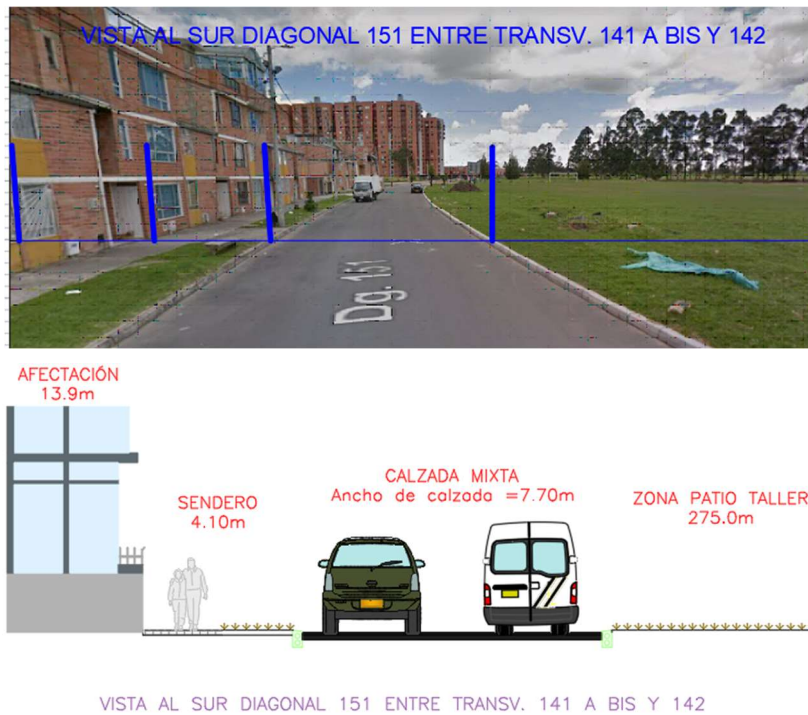


Figura 7. Afectaciones eje 3 de análisis

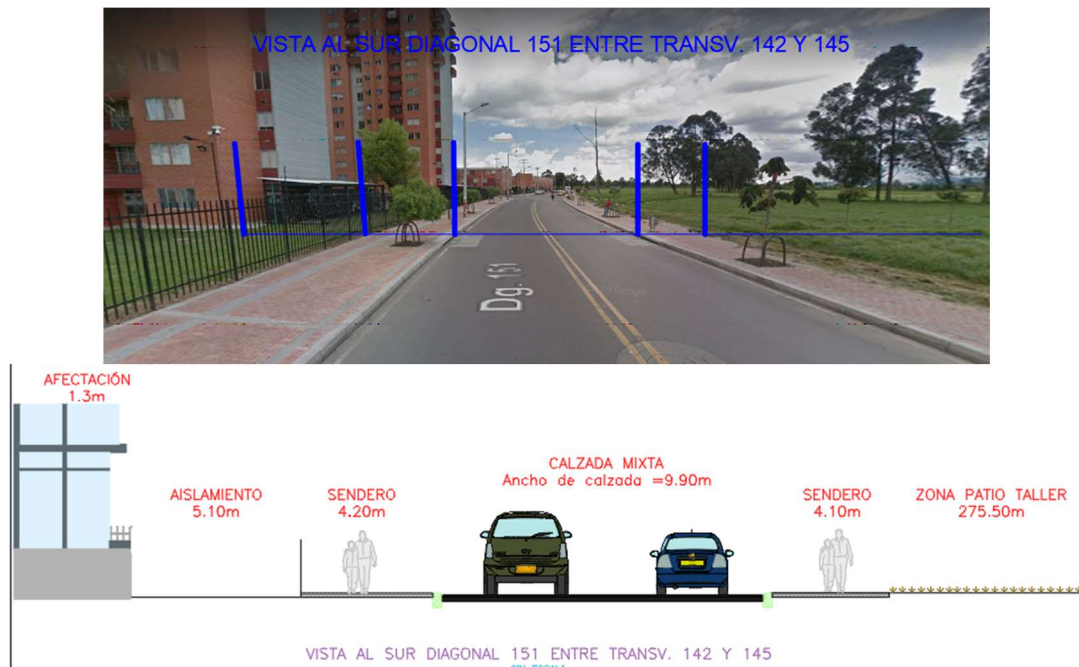


Figura 8. Afectaciones eje 2 de análisis

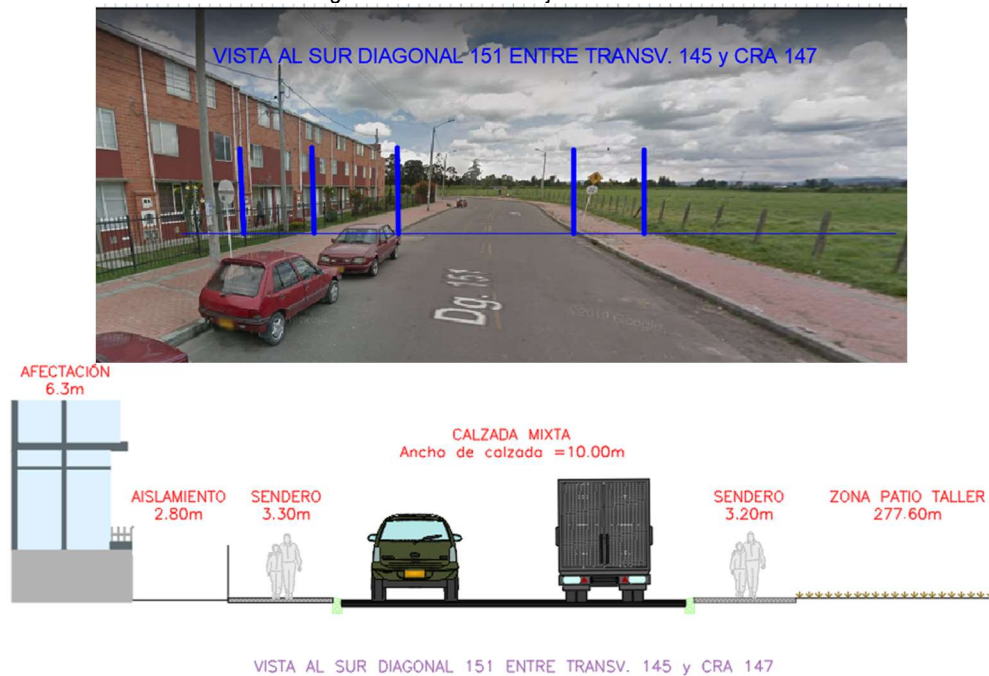


Figura 9. Afectaciones eje 1 de análisis



Figura 10. Afectaciones eje B de análisis





Figura 11. Afectaciones eje A de análisis

10.14.1.3.3.2. Alternativa 2: Rellenos ligeros (Cenizas)

Esta alternativa consiste en la conformación de rellenos por medio de cenizas volantes, donde la carga generada por estos rellenos y las estructuras sobre los mismos generan una presión de contacto sobre el suelo de 65 kPa. Se realiza el análisis de asentamientos, donde se alcanzan asentamientos totales de hasta 1,00 m.

Las bajas presiones generadas por este tipo de rellenos a causa de su bajo peso que por lo general es el 50% de los rellenos convencionales, permiten obtener asentamientos menores a los esperados con rellenos convencionales. Sin embargo, el costo para el uso de este tipo de rellenos es elevado y se presenta la incertidumbre ante la disponibilidad de este tipo de materiales.

10.14.1.3.3.3. Alternativa 3: Implementación de precargas más mechas drenantes

Esta alternativa considera la implementación de precargas para acelerar el proceso de asentamientos en los rellenos, de tal forma que se generen distorsiones mínimas en la plataforma del patio taller durante el periodo de diseño. Teniendo en cuenta que se requieren rellenos con alturas de 5,5 m aproximadamente, la implementación de precargas sería válida en el escenario de implementar rellenos ligeros definitivos para los terraplenes (Cenizas), de lo contrario en el escenario de implementar rellenos convencionales las precargas sobrepasarían la capacidad de soporte del subsuelo y generarían mayores afectaciones al entorno.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la conformación de un relleno definitivo con ceniza de 5,5 m de altura con lo cual se obtendría una presión de contacto aproximada 70 kPa, para esta presión de contacto se estiman unos asentamientos aproximadamente de 95 cm para un periodo de diseño de 75 años. Con este valor de asentamiento, se estableció la necesidad de implementar una precarga de aproximadamente 5,5 m de altura con rellenos convencionales (120 kPa) y la implementación de mechas drenantes, con lo cual se obtendrían asentamientos equivalentes en un periodo de dos años de precarga.

Tal como se menciona en la alternativa 1, esta opción permite el uso de rellenos convencionales. Sin embargo se presentan una serie de desventajas:

- Se requieren más de dos años para lograr que el suelo llegue a su asentamiento total.
- Se genera igual o mayor afectación a las estructuras cercanas existentes, con un factor adicional que estas se verán reflejadas en menor tiempo ya que las mechas drenantes y la precarga agilizan los asentamientos.

- Se aumentan los costos ya que se incluye la colocación de mechas drenantes.
- Se presenta la incertidumbre ante la disponibilidad de este tipo de materiales.

La inconveniencia de la instalación de mechas drenantes viene asociada a los grandes asentamientos provocados durante la etapa de precarga al igual que la inclusión de un importante volumen de material teniendo en cuenta que dicha sobrecarga deberá generar mayores esfuerzos que los generados por el terraplén definitivo, debido igualmente a este aumento de asentamientos el control de asentamientos diferenciales en la periferia genera una mayor complejidad.

10.14.1.3.3.4. Alternativa 4: Rellenos con geobloques

Este tipo de rellenos consisten en bloques de poliestileno expandido, los cuales tienen peso entre 15 a 35 kg/m³, lo cual se considera muy bajo con relación al de los rellenos convencionales e inclusive al de los rellenos con cenizas. Considerando la densidad de estos materiales, un relleno de 5,5 m de altura y una sobrecarga 25 kPa de la infraestructura se estableció un valor máximo de asentamientos de 30 cm para un periodo de 75 años.

Las bajas presiones generadas por este tipo de rellenos a causa de su bajo peso que por lo general es el 1% de los rellenos convencionales, permiten obtener asentamientos menores a los esperados con rellenos convencionales. Sin embargo, es la alternativa con mayor costo y no son aptos para zonas susceptibles a inundación, ya que por el bajo peso de estos rellenos se generan problemas de flotabilidad.

10.14.1.3.3.5. Alternativa 5: Rellenos aligerados (Convencional+Ceniza) + Inclusiones rígidas

Esta alternativa contempla inicialmente el mejoramiento del suelo por medio de inclusiones rígidas (columnas de módulo controlado) y rellenos conformados por una mezcla entre material granular convencional y ceniza volante. Se consideraron columnas de módulo controlado de 0,50m de diámetro con una longitud de 20,0 m separados 2,5 m centro a centro. Para el terraplén se ha considerado un aligeramiento compuesto de una mezcla de rellenos 70% ceniza y 30 % material granular convencional. La configuración de las columnas de módulo controlado es equivalente a la definida para el patio taller de la ET-PLMB, la mezcla ceniza y relleno generaría una presión de contacto equivalente a la definida en la ET-PLMB.

En la Figura 12 se presentan los asentamientos estimados para esta alternativa considerando la sección de análisis C (Ver Figura 5), se estimaron asentamientos totales aproximados de 50 cm para un periodo de diseño de 75 años, de los cuales aproximadamente 20 cm se generarían durante el proceso constructivo.

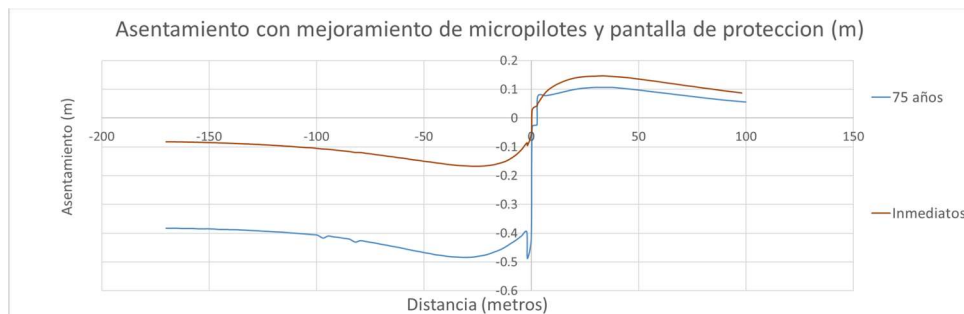


Figura 12. Asentamientos inmediatos y periodo de diseño alternativa 5

Con relación a las distorsiones angulares, la implementación de las columnas de módulo controlado como sistema de rigidización en el subsuelo permite reducir el efecto de las distorsiones angulares. Sin embargo se requiere la complementación de dicho mejoramiento en el perímetro oriental del área destinada para el patio taller con elementos

que proporcionan mayor rigidez y control de distorsiones por afectación de estructuras vecinas. Se plantea en esta etapa la implementación de tres líneas de pilotes de concreto de 0,8 m de diámetro, 30,0 m de longitud separadas 2,4 m a lo largo del perímetro oriental. Con este sistema complementario se genera un control de asentamientos diferenciales en la frontera que delimitará los rellenos proyectados y la infraestructura y viviendas existentes (Ver Figura 13).

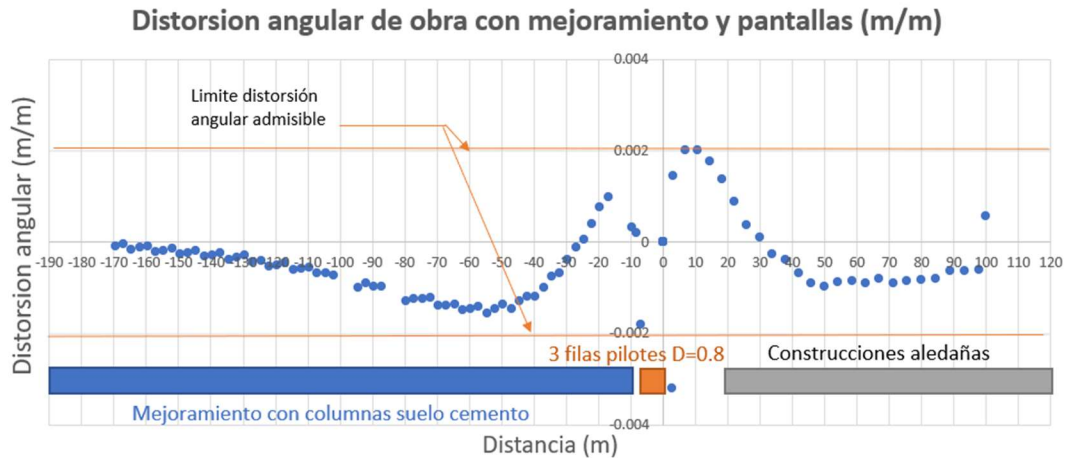


Figura 13. Asentamientos diferenciales alternativa 5

10.14.1.3.3.6. *Análisis de alternativas.*

En la Tabla 5 se presentan las diferentes alternativas planteadas para los rellenos en la zona del patio taller, donde se presentan las ventajas y desventajas de cada una.

Tabla 5. Resumen de alternativas rellenos Patio taller.

| Alternativa | Tipo de relleno + Medida de estabilización y/o control | Ventajas | Desventajas |
|-------------|---|--|--|
| 1 | Relleno convencional terraplén (5,5m) | Emplear rellenos convencionales, costos | Corto plazo importantes, afectaciones a estructuras vecinas |
| 2 | Rellenos ligeros (Cenizas) | Presiones bajas | Costo, sujeto a disponibilidad de materiales |
| 3 | Implementación de precargas más mechas drenantes | Control de asentamientos posterior a la precarga. | Tiempo precarga considerables, asentamientos a corto plazo importantes, afectaciones a estructuras vecinas |
| 4 | Rellenos con geobloques | Fácil instalación, bajas presiones | Costo, no aptos para zonas inundables |
| 5 | Rellenos aligerados (Convencional+Ceniza) + Inclusiones rígidas | Mejoramiento del suelo para el control de asentamientos. | Costo. |



10.14.1.4 Descripción de la solución técnica adoptada

Esta alternativa contempla inicialmente el mejoramiento del suelo por medio de inclusiones rígidas (columnas de módulo controlado) y rellenos conformados por una mezcla entre material granular convencional y ceniza volante. Se consideraron columnas de suelo cemento, de 0,50m de diámetro con una longitud de 20,0 m separados 2,5 m centro a centro. Para el terraplén se ha considerado un aligeramiento compuesto de una mezcla de rellenos 70% ceniza y 30 % material granular convencional. La configuración de las columnas de módulo controlado es equivalente a la definida para el patio taller de la ET-PLMB, la mezcla ceniza y relleno generaría una presión de contacto equivalente a la definida en la ET-PLMB.

- Debido a la considerable altura del relleno se propone la mezcla de aligerantes en el núcleo del terraplén, considerando la adición de ceniza con una densidad considerablemente menor que los estimados para rellenos con base granular tipo INVIAS, la proporción adecuada es 70% ceniza y 30% del volumen compuesto de material granular seleccionado.
- Los importantes asentamientos totales generados son controlados a través de columnas de suelo cemento, dichos elementos proporcionan una mejora en la capacidad portante del suelo, así como una menor deformabilidad.
- Con la evaluación de asentamientos diferenciales se generó la necesidad de implantar una pantalla de pilotes en la frontera del terraplén los cuales podrán generar una barrera de aislamiento frente a las deformaciones causadas por el terraplén.

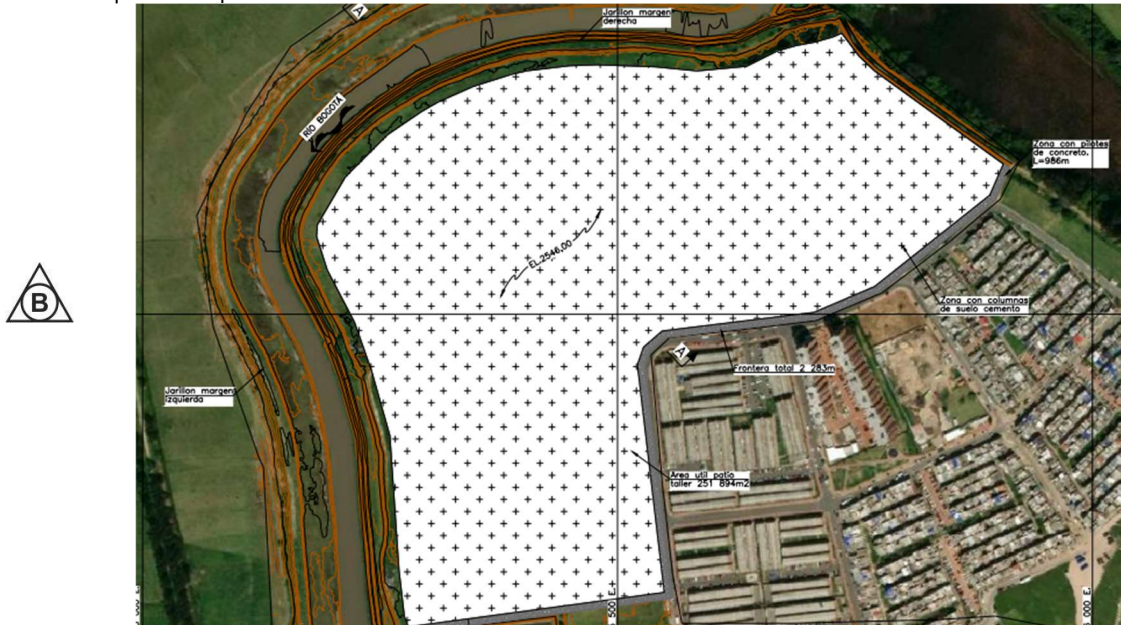


Figura 14. Planta de obras geotécnicas Patio Taller

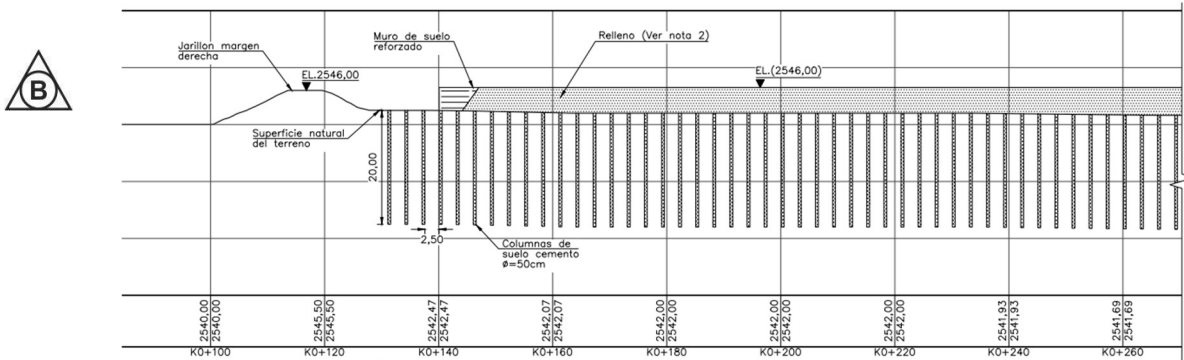
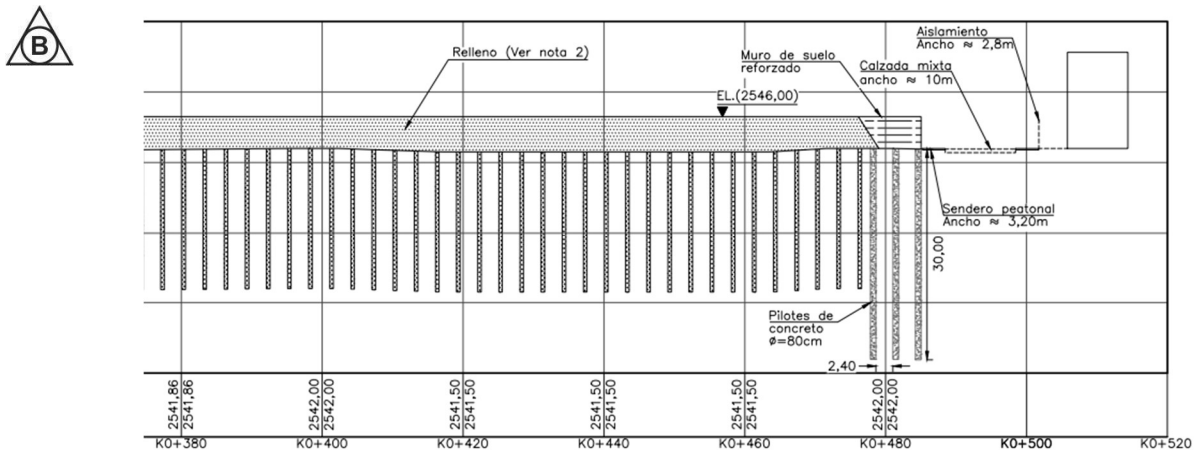


Figura 15. Sección transversal A-A costado jarillón



SECCIÓN A-A

Figura 16. Sección transversal A-A costado conjuntos residenciales.

10.14.1.5 Recomendaciones



Las recomendaciones planteadas en el presente informe obedecen a una serie de lineamientos establecidos en la normatividad colombiana, cada obra se genera en función de diferentes solicitaciones previstas y por lo tanto es indispensable que las obras cuenten con un adecuado control durante la construcción, en general existe una amplia experiencia nacional en construcciones de columnas de suelo cemento, así como en muros de suelo reforzado con geotextiles sin embargo es importante resaltar que las obras debe contar con un apropiado control de calidad (tanto de materiales como de proceso constructivo) lo cual generará una menor incertidumbre en el comportamiento de las estructuras planteadas.

La construcción de pantallas de pilotes por otra parte requiere un sistema constructivo pre excavado utilizando protección (fluidos de estabilización) para evitar derrumbes de la excavación durante la ejecución de los mismos, excavación mecánica incluyendo la viga cabezal, posterior fundición de los elementos teniendo en cuenta el descabece de los pilotes, para finalmente restituir las excavaciones adyacentes. Las redes se instalarán posterior a la construcción del terraplén, con el fin de disipar los asentamientos elásticos del mismo.

Debido a la evaluación de posibles afectaciones de las zonas aledañas es importante contar con un sistema de monitoreo en zonas aledañas al terraplén con el fin de comparar las condiciones de diseño frente a las reales, este seguimiento no debe estar restringido solo durante el periodo de construcción de la obra sino también a lo largo del tiempo de funcionamiento de la misma ,estos han sido proyectado mediante una red de puntos de control superficial así como inclinómetros.

10.14.1.6 Representación de los costos de la solución técnica propuesta

10.14.2.6.1 Ítems evaluados en geotecnia

Tabla 6. Ítems CAPEX para obras geotécnicas patio taller L2MB

| Ítem | Unidad |
|---|----------------|
| Descapote a máquina en material común (e=0.1m. incluye cargue). incluye disposición final de escombros | m ² |
| Relleno material invias 220-07 | m ³ |
| Relleno con ceniza (Suministro e instalación Extendido manual, Humedecimiento y Compactación. Incluye transporte) | m ³ |
| Inclusiones mezcla de suelo cemento 50 cm diámetro | m |
| Excavación mecánica en material común (incluye cargue) | m ³ |
| Geotextil TR4000 | m ² |
| Geotextil T2400 | m ² |
| Geodren Vial TB 100mm H=0,5m | m |
| Geodren planar H=0,5 (Lloraderos) | m |
| Geodren planar H=1,0 (Espaldon) | m |
| Material de lleno seleccionado para MSR B-200 | m ³ |
| Malla electrosoldada Q 3.1 | m ² |
| Mortero de revoque 2500 psi (e= 5 cm) | m ³ |
| Instrumentación relleno - Patio taller | Glb |
| Pilote d=80 cm con concreto tremie de 4000 psi. (incl. excavación, cargue, movilización, montaje y desmontaje equipo y concreto) | m |
| Viga cabezal en concreto premezclado de 4000 psi (28 mpa) grava común (incluye grua telescópica, bombeo, suministro, formaleteo metálico, colocación y curado. no incluye refuerzo) | m ³ |

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

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

Acero de refuerzo $f_y=60000$ psi. suministro e instalación. de acuerdo a lo estipulado por la nsr-10, norma astm a-706, icontec 2289 para el acero pdr-60. Incluye todos los costos de suministro de materiales (refuerzo (g60) figurado, corrugado, incluye el alambre de amarre), equipos, transportes, manejo, almacenamiento, desperdicios y mano de obra.

kg



10.14.2 Pavimentos

Para determinar los costos asociados a la construcción de las estructuras de pavimento que conforman el patio taller se tuvieron en cuenta las vías externas, internas, parqueaderos y andenes proyectados. A continuación se describen de manera general las vías que hacen parte del presente diseño.

10.14.2.1 Descripción Vías

Dentro de la infraestructura interna del Patio Taller, se proyecta el diseño a nivel de factibilidad una vía perimetral bidireccional, de aproximadamente 2,8 km de longitud y un ancho de calzada de 7,0m, a través de la cual se podrá acceder a las diferentes áreas del patio. En la Figura 17 se presenta el esquema de la vía perimetral.



Figura 17. Esquema vía perimetral Patio Taller

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 y Figura 19 se observa la vista en planta de las vías internas proyectadas y los andenes internos y externos, respectivamente, de acuerdo a los estudios de prefactibilidad. Con base en esta información se procedió a realizar los diseños y estimación de cantidades de obra.

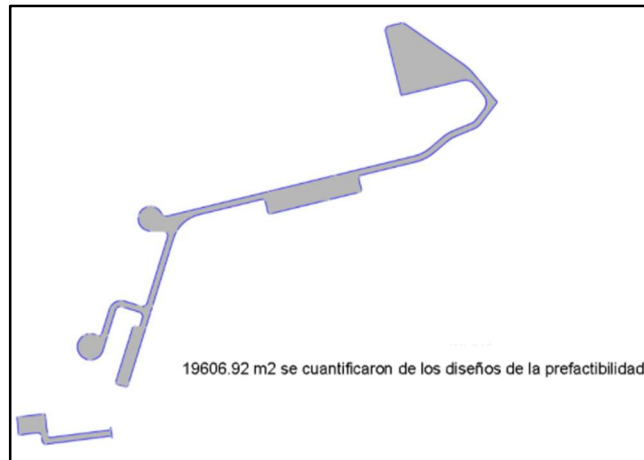


Figura 18. Vista en planta de las vías internas y parqueaderos

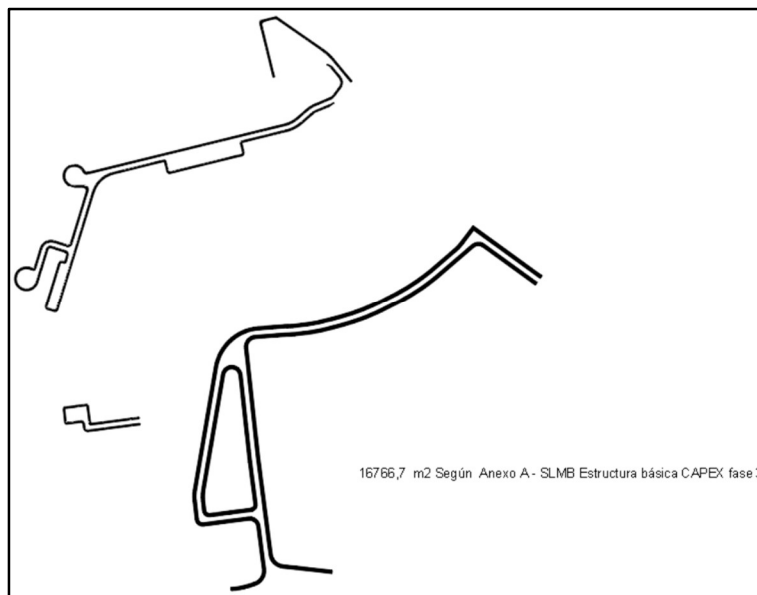


Figura 19. Vista en planta de los andenes internos y externos

10.14.2.2 Criterios y Metodologías para el pre diseño de pavimentos

A continuación se describe la metodología empleada para el prediseño de los pavimentos del Patio taller. Teniendo en cuenta que las estructuras de pavimento estarán apoyadas sobre la corona del terraplén en material seleccionado, se consideró en los diseños un CBR de 12%, de acuerdo a la especificación IDU-310-18.

10.14.2.2.1 Pavimento Flexible

Como primer parámetro para el prediseño de la estructura de pavimento es estimar las cargas de tránsito que va a soportar la estructura. Estas cargas se consideraron con base en la "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures

-1993”, en donde recomiendan cargas de tránsito para vías de bajo tránsito. Para la vía perimetral del Patio, se consideró el valor máximo del límite superior, el cual varía entre 700.000 y 1.000.000 de ejes equivalentes de 8,2 toneladas, es decir, el valor considerado para el diseño es de 1.000.000 ejes equivalentes.

Para el pre diseño de pavimentos de la vía perimetral del Patio Taller, se empleó la metodología AASHTO. La ecuación utilizada para el diseño de los espesores de la estructuras es:

$$\text{Log}(N) = ZR * S_0 + 9.36\text{Log}(SN + 1) - 0.20 + \left(\frac{\text{Log}(\Delta\text{PSI}/4.2-1.5)}{0.4(1094/(SN+1)^{5.19})} \right) + 2.32\text{Log}(M_r) - 8.07$$

Ecuación 1.

Donde:

N=Número de ejes equivalentes de 8,2 t.

ZR=Desviación estándar normal = -1.645 que corresponde a una confiabilidad del 95%.

S₀=Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento = La guía de diseño de la AASHTO en el Numeral 4.3 “Criterios para la selección de la desviación estándar”, establece que el valor de desviación estándar del tráfico (s₀) depende de la certeza en la variación del tránsito futuro. Para este estudio se adoptó un valor de 0.45 que corresponde al promedio de los valores típicos para un pavimento flexible (0.4-0.5).

ΔPSI=Diferencia entre el índice de servicio inicial (P₀) y el final (P_t). = 4,2 – 2,5

M_r=Módulo Resiliente de la subrasante. Para el pre diseño de pavimentos se consideró un CBR de 12%, correspondiente al material seleccionado de la corona del terraplén.

SN=Número estructural

Ecuación 2.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Siendo:

a_i=Coeficiente estructural de la capa i.

d_i=Espesor de la capa i en pulgadas.

m_i=Coeficiente de drenaje de la capa i.

En todos los casos, el número de ejes equivalentes calculado debe ser superior a la cantidad requerida.

En cuanto a los coeficientes de aporte de los materiales se emplearon los ábacos de la AASHTO. Para determinar el coeficiente de la mezcla asfáltica, se estimó el módulo de la siguiente manera:

Inicialmente se determinó la temperatura de operación (T_{mix}) del concreto asfáltico de la zona del proyecto. Para esto, se encontró la temperatura media mensual de Bogotá. Con esta información y utilizando la Figura 20 (Curva de ponderación de temperatura sugerida por el método de diseño SHELL) se obtuvo una temperatura media anual ponderada del aire w-MAAT de 13,5°C, tal como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Temperaturas mensuales del aire y factores de ponderación del método SHELL

| Mes | MMAT (°C) | Factor de ponderación |
|-----|-----------|-----------------------|
| ENE | 13,2 | 0,42 |
| FEB | 13,5 | 0,45 |

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

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

| Mes | MMAT (°C) | Factor de ponderación |
|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| MAR | 13,9 | 0,47 |
| ABR | 14,0 | 0,49 |
| MAY | 13,8 | 0,46 |
| JUN | 13,4 | 0,43 |
| JUL | 13,1 | 0,41 |
| AGO | 13,1 | 0,41 |
| SEP | 13,2 | 0,42 |
| OCT | 13,3 | 0,42 |
| NOV | 13,5 | 0,45 |
| DIC | 13,4 | 0,43 |
| Factor ponderación promedio | | 0,44 |
| w-MAAT (°C) | | 13,5 |

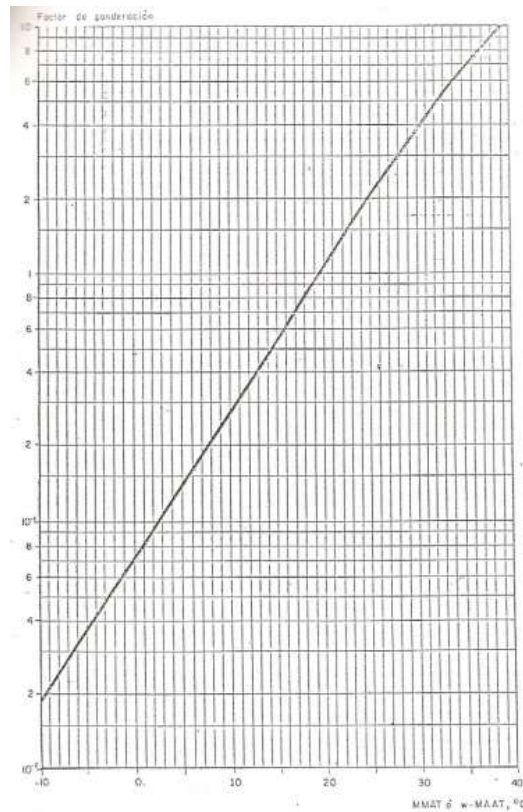


Figura 20. Curva de ponderación de temperatura
(Fuente: Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978)

Conociendo la temperatura media anual ponderada del aire $w\text{-MAAT}$ ($13,5^{\circ}\text{C}$) y tomando un espesor promedio de la capa asfáltica de 20 cm, se empleó la Figura 21 (Gráfico RT del método Shell), obteniendo una temperatura de operación (T_{mix}) de 20°C en la zona del proyecto.

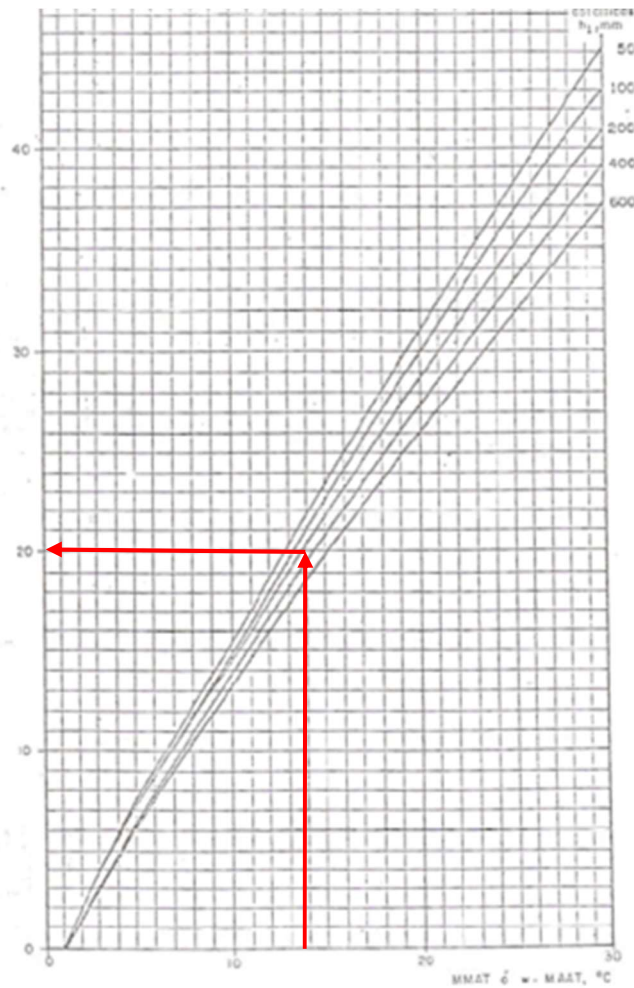


Figura 21. Relación entre temperatura efectiva de las capas asfálticas y de la mezcla.
(Fuente: Shell International Petroleum Company Limited, Shell Pavement Design Manual, London, 1978)

Para estimar el módulo de la mezcla MD12 se tomaron como base los ensayos reportados en el proyecto de grado “Recopilación y Análisis de Ensayos de Caracterización Dinámica de Materiales Asfálticos en Colombia, 2012”, presentado por Andrés F. Acelas, documento en el cual se recopilan un buen número de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad de los Andes. Los módulos dinámicos se realizaron a frecuencias de 1, 4, 10, y 16 Hz, y temperaturas de 5°C, 25°C y 40°C. Con esta información se determinaron los módulos a una frecuencia de 4,77 Hz (correspondiente a una velocidad de operación de 30km/h) y 20°C (Ver Figura 22).

| Temp | MÓDULO - 4,77 Hz- (MPa) |
|-----------|-------------------------|
| (°C) | MD-12 |
| # Ensayos | 7 |
| 5 | 8,899 |

| Temp | MÓDULO - 4,77 Hz- (MPa) |
|------|-------------------------|
| 25 | 2,881 |
| 40 | 1,075 |
| 20 | 3,632 |

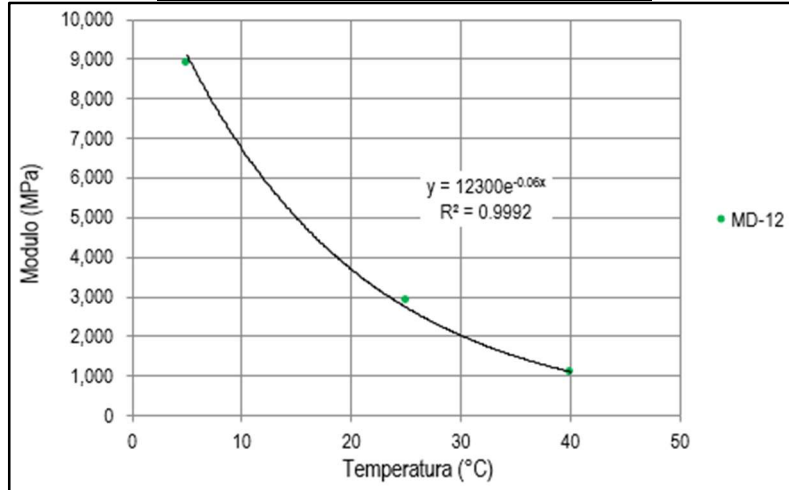


Figura 22. Módulo de mezcla tipo MD-12

Con este módulo y aplicando el ábaco de la AASHTO (ver Figura 23) , se determinó un coeficiente de aporte de 0.47.

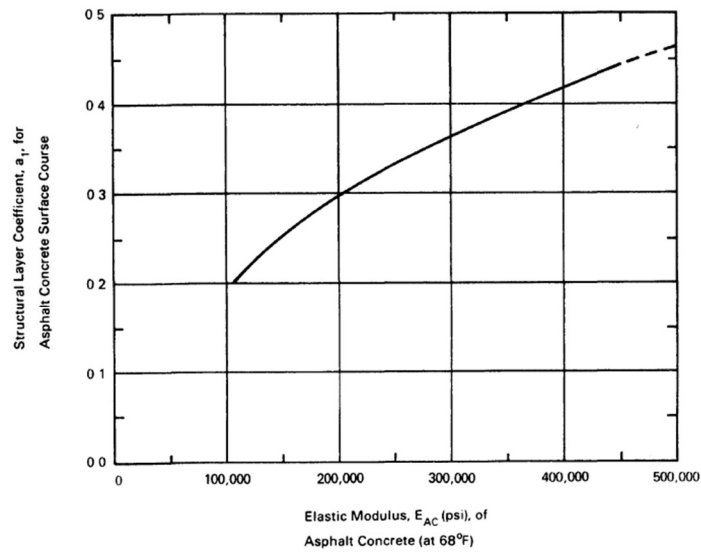


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

Figura 23. Coeficiente de aporte. Mezcla tipo MD-12

Para estimar los módulos de las capas granulares se aplicaron las expresiones o ábacos desarrollados por la AASHTO e incluidas en "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993". Los módulos aplicados se estimaron con base en los módulos resilientes mínimos establecidos en la especificación IDU-10-18 para subbase y base granular.

Tabla 8. Módulos Capas Granulares

| Capa | Módulo Mínimo (MPa) |
|----------------------------|---------------------|
| Base granular - Clase A | 100 |
| Subbase granular - Clase A | 70 |

Con estos módulos y aplicando los ábacos mostrados en la Figura 24, se obtuvieron coeficientes de aporte de 0.07 para bases y subbases granulares.

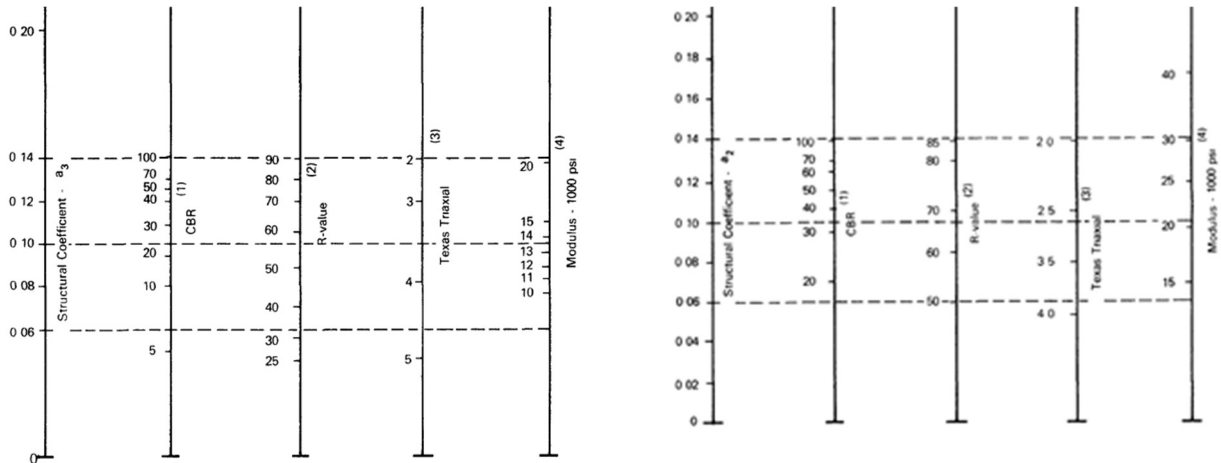


Figura 24. Parámetros Capas Granulares. a) Subbase granular b) Base granular (Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavements Structures, 1993)

En la Tabla 9 se presenta el resumen de los parámetros de entrada al método AASHTO 93.

Tabla 9. Parámetros de entrada al método AASHTO

| Parámetro | Descripción |
|------------------------------|--|
| Serviciabilidad Δ PSI | Δ PSI = PSI final – PSI inicial |

| | |
|---|---|
| | = 4,2 – 2,5 = 1,7 |
| Confiabilidad R | 95% para un Zr=-1,645 |
| Drenaje Factor mi | - Base granular: m = 0.8 - Subbase Granular: m = 0.8 |
| Desviación estándar del tráfico S0 | 0.45 |
| Coefficiente de aporte, Mezcla asfáltica | 0,47 |
| Coefficiente de aporte, Base Granular | 0,07 |
| Coefficiente de aporte, Subbase granular | 0,07 |

10.14.2.2.2 Pavimento Rígido

Para el diseño de las vías internas y parqueaderos del Patio Taller mostradas en la Figura 18, el predimensionamiento se realizó empleando la metodología para pisos industriales, teniendo en cuenta que se prevé el paso de montacargas.

Para el análisis de cargas del área estudiada, se consideró un montacargas tipo PD11000 con un peso total vacío de 7.24 t, y 12.24 t para carga máxima, trabajando con una presión de inflado de 800 kPa (8.16 kg/cm²). Para el cálculo de las cargas de tránsito, se considera que la condición crítica es con toda la carga sobre el eje delantero.

Para realizar el modelo de cargas, se requiere que las cargas por rueda se conviertan a una carga rectangular equivalente, para lo cual se aplicaron las siguientes expresiones utilizadas por el método de la *Portland Cement Association* (PCA):

- Eje Delantero

$$\text{Area contacto}(A_c) = \frac{6120 \text{ kg}}{8.16 \text{ kg/cm}^2} = 750 \text{ cm}^2$$

$$L = \left(\frac{A_c}{0.5227} \right)^{0.5} = 37.87 \text{ cm}$$



$$0.6L = 23$$

$$0.8712 L = 33$$



Figura 25. Cargas cargador

Teniendo en cuenta que para pisos industriales (plataformas, bodegas, talleres y zonas de almacenamiento), no es posible determinar con precisión la repetición de las cargas de tránsito, se recurre a determinar para cada caso un adecuado factor de seguridad que se selecciona para determinar los esfuerzos de trabajo permisibles. Para pisos, el factor de seguridad es la relación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de rotura) entre el esfuerzo de trabajo a flexión, lo que puede entenderse como la capacidad total admisible que pueda ocurrir antes de la falla, con la resistencia utilizada.

El inverso del factor de seguridad (esfuerzo de trabajo dividido entre la resistencia a la flexión) se conoce como relación de esfuerzos y en estudios de fatiga, los valores de la relación de esfuerzos influyen en el número de repeticiones de carga permisibles. Mientras la relación de esfuerzos se mantenga por debajo de 0.45, el concreto puede resistir un número ilimitado de repeticiones de carga sin presentar agrietamiento por fatiga (una relación de esfuerzos de 0.45 es equivalente a un factor de seguridad de 2.2).

Los diseños se realizaron para un módulo de rotura del concreto de 4500 kPa (4.5 MPa). Con base en las consideraciones planteadas se determinaron los esfuerzos de trabajo para cada condición:

$$\sigma_{\text{trabajo}} = \frac{MR}{FS} = \frac{4500}{2.20} < 2045 \text{ KPa}$$

Los pavimentos se dimensionaron por medio del análisis de los esfuerzos generados en la losa por las diferentes configuraciones de carga planteadas. La magnitud de los esfuerzos se estimó con base en metodologías de elementos finitos.

Los parámetros de diseño a considerar son los siguientes:

- La estructura de los pisos se soporta sobre la corona del terraplén realizado con cenizas compactadas, a las cuales se les estima un CBR de 12%. La corona del terraplén se uniformiza con material tipo subbase de 20 cm con el fin de garantizar un apoyo adecuado a la losa, obteniendo un módulo de reacción combinado de 74 MPa/m.
- Módulo de Rotura = 4.5 MPa
- Módulo elástico E= 27600 MPa
- Relación de Poisson = 0.15
- Densidad = 2400 Kg/m³

- Módulo de elasticidad = 206000 MPa
- Relación de Poisson = 0.30
- Módulo del soporte de las barras ($K_b = 82 \text{ MPa/mm}$)
- Módulo de soporte barra-losa = $K_b \times \text{Diámetro barra}$
- Módulo de restricción barra-losa = 10000 MPa

Para el análisis de los esfuerzos y deformaciones generados en las losas, se aplicó la metodología de elementos finitos, empleando el programa EVERFE 2.23, desarrollado por *Washington and California State Departments of Transportation*. En el numeral 10.14.2.3 se presentan los resultados de los pre diseños realizados.

10.14.2.2.3 Espacio Público

El diseño de los andenes y ciclo rutas que corresponden al espacio público ubicado en el Patio Taller, se realizó con base en los criterios presentados en el Capítulo 6 de la Cartilla de Andenes del IDU actualizada por el Decreto Distrital 308 del 06 de Junio de 2018. Los materiales empleados deben cumplir con las especificaciones técnicas generales de materiales y construcción de IDU vigentes.

- Caracterización subrasante

Para la selección del tipo de estructura, se siguieron las recomendaciones planteadas en el Capítulo 6 de la Cartilla de Andenes del IDU. Primero se analiza la calidad de la subrasante en términos de resistencia considerando el promedio del CBR en condición saturada, y con base en los resultados obtenidos, se clasifica según el tipo de subrasante. Ver Tabla 10.

Tabla 10. Tipos de Subrasante Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

| TIPO DE SUBRASANTE CBR (Condición de inmersión) | |
|---|--------------------|
| S1 | Mayor o igual a 3% |
| S2 | Menor de 3% |

(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 78)

Una vez definido el tipo de subrasante, se determina el tipo de mejoramiento requerido (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Mejoramiento del Suelo de Subrasante- Cartilla de Andenes de Bogotá D.C.

| TIPO DE SUELOS EXISTENTE EN LA SUBRASANTE | CLASIFICACIÓN AASHTO | CLASIFICACIÓN AASHTO | CBR | PROCESO A SEGUIR |
|---|----------------------|----------------------|-----|--|
| Suelos Granulares (Gravas y Arenas) | Tipos A1, A2, A3 | Excelente a Buena | >3% | Rectificar y compactar hasta obtener la densidad especificada por el diseñador |
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de baja plasticidad) | Tipos A4 | Regular a Mala | >3% | Perfilar |

| | | | | |
|---|---------------|----------------|-----|--|
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de baja plasticidad) | Tipos A4 y A5 | Regular a Mala | <3% | Reemplazar 20 cm con material de relleno de CBR mínimo de 10% (Sección 320 de IDU - ET - 2011 o vigente) |
| Suelos Finos (Arcillas y Limos de alta plasticidad) | Tipos A6 y A7 | Regular a Mala | <3% | Mejorar 20 cm con algún proceso químico o cal viva (Sección 230 de IDU ET - 2011 o vigente) |

(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 78)

- Dimensionamiento estructuras de pavimento Espacio público

El pre dimensionamiento de las estructuras de pavimento proyectadas para el espacio público como andenes, y ciclorutas, se realizó teniendo en cuenta lo establecido en la Cartilla de Andenes de Bogotá D.C. En esta cartilla se presenta el dimensionamiento de las estructuras de pavimento para espacio público con unas condiciones particulares determinadas.

La estructura de espacio público peatonal a nivel de andén, incluida en la cartilla, que soporta más de 3 vehículos livianos (Criterio de diseño 3), corresponde a un pavimento rígido cuya superficie es construida en una losa de concreto, que se apoya sobre un material granular de espesor mínimo de 15 cm tipo sub-base SBG-C (Ver Figura 26). En el caso en que el suelo de subrasante presente las características de subrasante tipo S2, se adiciona un mejoramiento de 20 cm (Ver Figura 27). Sobre la capa de subbase normalmente se dispone una capa de arena.

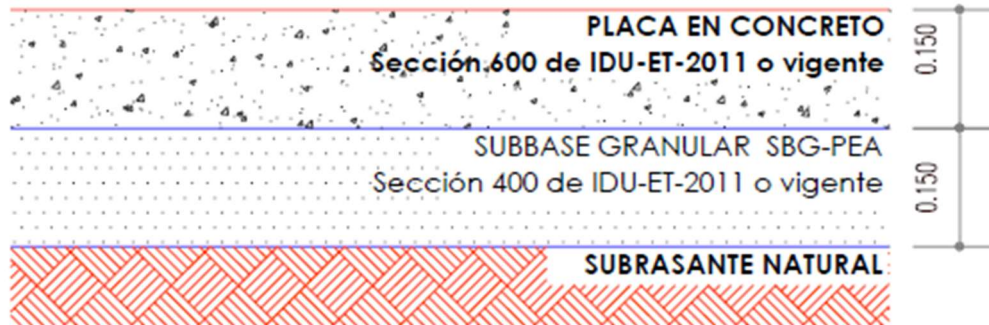


Figura 26. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S1 y Criterio de Diseño 3
(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 85)

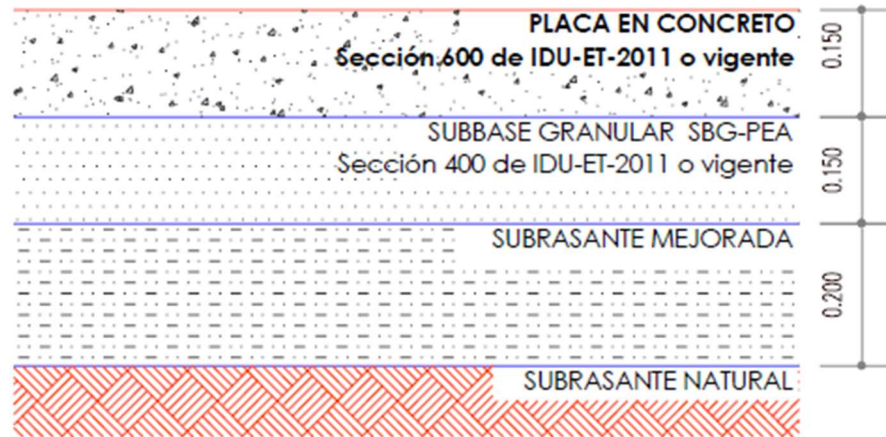


Figura 27. Estructura de Andén para Subrasante Tipo S2 y Criterio de Diseño 3
(Fuente: Cartilla de Andenes del IDU, 2018, p. 84)

10.14.2.3 Prediseño de Pavimentos

10.14.2.3.1 Vía Perimetral

Con base en los criterios de pavimentos descritos en el numeral 10.14.2.2.1 y la capacidad de la subrasante estimada, se plantea la siguiente estructura de pavimento determinada mediante la metodología AASHTO.

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

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

Parámetros AASHTO

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|---------------------------------|----|--------|
| Δ PSI | | 1.7 | CONFIABILIDAD (95%) | Zr | -1.645 |
| INICIAL | 4.2 | | DES. ESTANDAR | So | 0.45 |
| FINAL | 2.5 | | MODULO SR (lb/in ²) | | 17068 |

| e(cm.) | Material | PARAMETROS DE RESISTENCIA | | H (in.) | m | SN | | |
|--------|--------------------------|---------------------------|------|------------|-------|-------------|----------------------------|------------|
| | | a | CBR | | | | E (Kg/cm ²) | E (MPa) |
| 10 | MD12 | 0.47 | | 37,036 | 3,632 | 3.94 | 1 | 1.84 |
| 20 | BASE GRANULAR Clase A | 0.07 | | 1,085 | 106 | 7.87 | 0.8 | 0.42 |
| 20 | SUBBASE GRANULAR Clase A | 0.07 | | 717 | 70 | 7.87 | 0.8 | 0.45 |
| 50 | SR | | 12.0 | 1,200 | 118 | | | |
| | | | | SN | | 2.70 | | |

| | |
|--------------------------------|-----------|
| # EJES EQUIVALENTES ADMISIBLES | 1,009,969 |
| # EJES EQUIVALENTES DE DISEÑO | 1,000,000 |

DISEÑO ADECUADO

Figura 28. Estructura de pavimento para las vías externas del patio taller

10.14.2.3.2 Vías Internas y Parquaderos

Aplicando los criterios de diseño descritos en el numeral 10.14.2.2.2 y con la información de cargas y configuración de ejes de los vehículos de diseño, se realizaron modelos con diferentes hipótesis relacionadas con la ubicación de las cargas en la losa, para determinar la ubicación que presente las condiciones críticas de diseño. Los resultados de estas condiciones críticas se presentan a continuación.

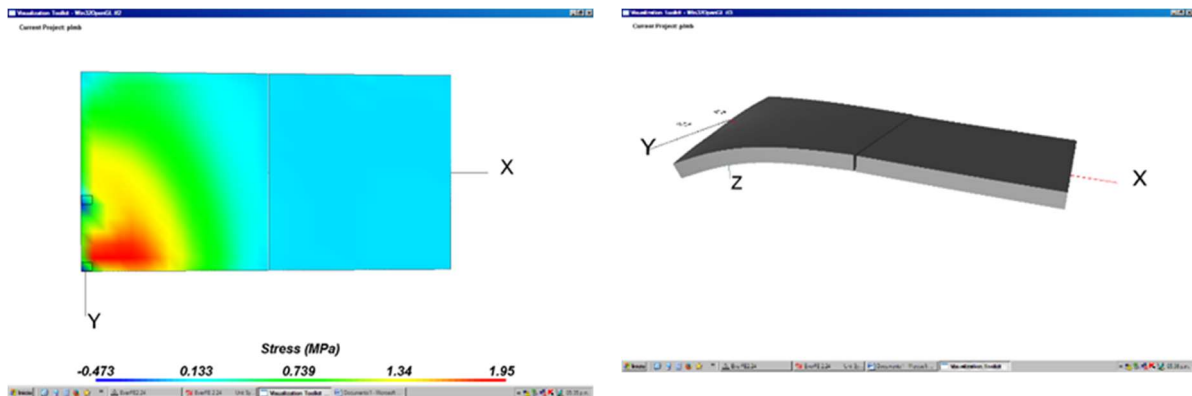


Figura 29. Modelo realizado

Con el esfuerzo máximo obtenido de 1.95 MPa se obtiene el factor de seguridad de 2.3, mayor que el factor de seguridad propuesto de 2.2.

$$FS = \frac{MR}{\sigma_{trabajo}} = \frac{4500}{1950} = 2.30$$

La estructura propuesta se encuentra conformada de la siguiente manera:



Figura 30. Estructura de pavimento para las vías internas del patio taller

10.14.2.3.3 Andenes y Cicloruta

De acuerdo con lo descrito en el numeral 10.14.2.2.3 y teniendo en cuenta que la corona del terraplén en material seleccionado tiene un CBR de 12%; corresponde a una subrasante tipo S1, la cual no necesita mejoramiento.

Teniendo en cuenta lo anterior, la estructura de pavimento bajo el criterio de diseño 3, está compuesta por 15 cm de subbase granular y 15 cm de losa de concreto con un módulo de rotura de 4 MPa.

Los ítems calculados para las cantidades anteriormente expuestas son los siguientes.

Tabla 12. Ítems CAPEX para obras de pavimentos en el patio taller L2MB

| Ítem | Unidad |
|--|--------|
| LOSA DE CONCRETO MR45 (Suministro, Formaiteado, Colocación, Curado, Juntas y Acabado. Incluye Canastilla Pasa Junta. | m3 |
| LOSA DE CONCRETO MR41 (Suministro, Formaiteado, Colocación y Acabado. No Incluye Acero, Curado, Juntas) | m3 |
| MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN CALIENTE MD12 con Cemento Asfáltico 60-70 (Suministro, Extendido, Nivelación y Compactación con vibrocompactador y compactador de llantas) | m3 |
| BASE GRANULAR CLASE A (BG_A) (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación) | m3 |
| SUBBASE GRANULAR CLASE A (SBG_A) (Suministro, Extendido, Nivelación, Humedecimiento y Compactación con vibrocompactador) | m3 |

| | |
|---|----|
| SUBBASE GRANULAR CLASE C (SBG_C) (Suministro, Extendido Manual, Humedecimiento y Compactación) | m3 |
| RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN MODIFICADA CON POLIMEROS CRR-1m (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m2 |
| IMPRIMACION CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CRL-0 (Suministro, Barrido Superficie y Riego) | m2 |
| GEOTEXTIL NT 2500 PARA SEPARACIÓN SUBRASANTE/CAPAS GRANULARES (Incluye Suministro e Instalación) | m2 |
| ACERO DE REFUERZO (Incluye Suministro, Figurado y Fijación) | kg |
| (DOVELAS) ACERO LISO PARA TRANSFERENCIA DE LOSAS D= 1" (NO INCLUYE CANASTILLA). SUMINISTRO E INSTALACIÓN. | kg |
| CORTE Y AMPLIACIÓN DE JUNTA EN PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO | ml |

En cuanto a las especificaciones técnicas para construcción, a continuación se presenta el listado general de las normas a las que se le deben dar cumplimiento durante la construcción de las obras asociadas a los pavimentos y espacio público. En caso de tener una actividad diferente a las enunciadas, se deben cumplir con los requerimientos descritos en las Especificaciones técnicas generales de materiales y construcción, para proyectos de infraestructura vial y de espacio público para Bogotá D.C o las dispuestas por el dueño del proyecto.

- IDU 300-18 Excavaciones para conformación de la subrasante
- IDU 310-18 Rellenos para conformación de la subrasante
- IDU 510-18 Capas granulares de base y subbase
- IDU 610-18 Riego de imprimación
- IDU 611-18 Riego de liga
- IDU 620-18 Mezclas asfálticas en caliente densas, semidensas, gruesas, y de alto módulo
- IDU 800-18 Pavimento de losas de concreto hidráulico.

10.14.3 Conclusiones

El nivel de referencia (cota 2547,5) del terraplén se presenta como una cota viable teniendo en cuenta que dicha estructura se encuentra a un nivel superior del jarillón existente (cota max 2546,5) por lo tanto la zona estará protegido frente a posibles evento de creciente máxima del Río Bogotá, esto es importante pues la zona se localiza en un área clasificada con amenaza alta de inundación.

Comparado con el patio taller de la línea 1 del Metro de Bogotá la zona tiene una mayor cantidad de relleno a comparación de los 4 m de relleno previstos para esta obra, por lo que hay algunas consideraciones específicas que debieron ser evaluadas en el planteamiento del presente estudio.

Debido a la considerable altura del relleno (5,5 m) se ha planteado un aligeramiento a base de una mezcla de cenizas con material granular convencional, adoptando una rigidización con columnas de suelo cemento de 0,50 m de diámetro separados 2,5 m, centro a centro, estos últimos además de añadir una mayor rigidez al suelo permiten controlar los asentamientos totales en el terraplén.

Los análisis igualmente reflejan una considerable afectación alrededor de la zona de relleno teniendo en cuenta las limitaciones de asentamiento diferencial establecidas en la NSR-10, en esta zona se localizan estructuras construidas con mampostería confinada y un conjunto residencial de 14 pisos soportada con muros estructurales, debido a ello se ha planteado una protección con 3 filas de pantallas de pilotes de 0,8m de diámetro separadas 2,4 m centro a centro, los cuales ofrecen una medida de aislamiento frente a los esfuerzos generados en la frontera entre el terraplén y las vías aledañas existentes.

Debido a esta posible afectación es importante mantener un control y monitoreo de los efectos de la obra no solo al interior del terraplén sino también en zonas aledañas, por ello se ha considerado la implementación de inclinómetros así como la instalación de puntos de control superficial para asentamientos.



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

Entregable 4
Documento de requisitos para cofinanciación Sistemas de Transporte

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

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

REVISIÓN Y APROBACIÓN

| | | | |
|---|---------------------------------------|---|--|
| Realizó: D.Niño /D. Leyton 05-05-2022 | Revisó: F. Faria 05-05-2022 | Revisó: C.L. Umaña 05-05-2022 | Aprobó: J.M. Martínez 05-05-2022 |
| VoBo. Director Técnico | VoBo. Director Financiero | VoBo. Director Legal | VoBo. Director General de Estructuración |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO | 4 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN | 4 |
| 10.14 PATIOS Y TALLERES | 4 |
| 10.14.3 Arquitectura y urbanismo | 4 |
| 10.14.3.1 Sistema de patios y talleres generales | 4 |
| 10.14.3.2 Planteamiento urbanístico | 4 |
| 10.14.3.3 Descripción funcional patios | 4 |
| 10.14.3.4 Descripción funcional diseño del patio taller | 5 |
| 10.14.3.4.1 Funcionalidad | 5 |
| 10.14.3.4.2 Movilidad y accesibilidad | 5 |
| 10.14.3.4.3 Confort | 6 |
| 10.14.3.4.4 Seguridad ferroviaria | 6 |
| 10.14.3.4.4 Seguridad física | 7 |
| 10.14.3.5 Criterios de Diseño Patio Taller | 7 |
| 10.14.3.5.1 Criterios Arquitectónicos | 7 |
| 10.14.3.5.2 Criterios de Materialidad | 8 |
| 10.14.3.5.2.1 Muros exteriores opacos | 8 |
| 10.14.3.5.2.2 Ventanería | 8 |
| 10.14.3.5.2.3 Cubierta | 8 |

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.14 PATIOS Y TALLERES

10.14.3 Arquitectura y urbanismo

10.14.3.1 Sistema de patios y talleres generales

El diseño de los patios y talleres es la suma de circunstancias tales como la geometría del terreno, los distintos circuitos de circulación de los trenes, coches y peatones.

El objetivo del diseño deberá ser el de clarificar y simplificar estos flujos de circulación; por consiguiente, se estudiará:

1. La circulación de trenes entre el taller y la playa de vías de estacionamiento.
2. La circulación de trenes entre los patios y la línea de servicio del metro.
3. La circulación en el recinto del taller – estacionamiento de coches particulares del personal y de transporte de mercancías.

Las diferentes zonas de trabajo en el taller y la accesibilidad a las distintas vías de la cochera se diseñarán de manera que pueda optimizarse el flujo de personas y materiales.

10.14.3.2 Planteamiento urbanístico

Para la definición de los criterios urbanísticos del diseño del Patio Taller se tienen en cuenta las recomendaciones dadas en la ET.19 Patios y Talleres, complementada con las normativas vigentes y la inclusión de Personas con Movilidad Reducida.

Otro de los principales lineamientos que regirán el planteamiento del diseño urbanístico al interior del patio taller es la integración y homogenización de los conceptos urbanísticos desarrollados para todo el corredor de la L2MB, para obtener como resultado final un diseño integral.

Se desarrollará un diseño urbanístico que responda a la adecuada integración del Patio Taller a la infraestructura existente, permitiendo su acceso peatonal, vehicular, ciclorrutas, etc., para los empleados y usuarios del sistema.

10.14.3.3 Descripción funcional patios

La zona de Patios debe comprender las vías de estacionamiento para trenes. Cada dos vías consecutivas se construirá un andén central común para facilitar el acceso del personal al interior de los mismos para realizar diariamente su limpieza interior.

Los andenes dispondrán de focos de iluminación dirigidos al interior de los trenes, tomas de corrientes, grifos y sumideros de agua para facilitar los trabajos de limpieza del compartimiento interior del pasaje y de la cabina de conducción.

Estas vías estarán ocupadas con el sistema de señalización de la línea, ya que se consideran parte de la operación de la misma.

Diseñar la zona de patios teniendo en cuenta la posibilidad de que la explotación se realice sin conductores, delimitando el acceso de personas a la zona de vías.

Los movimientos de los trenes podrán realizarse de forma automática sin conductores y por consiguiente los enclavamientos deberán ser aptos para esta circunstancia.

Los patios se construirán de forma que en los diez primeros años de servicio no haga falta ninguna ampliación. Las ampliaciones posteriores se harán en forma modular para lo cual se deberá tener en consideración en su diseño ya en su fase inicial. La capacidad de los patios debe ser suficiente para albergar todos los trenes de la L2MB.

En definitiva, los patios deberán diseñarse para estacionar los vehículos por la noche o en horas valle.

Los patios dispondrán de una playa de vías para el estacionamiento de los trenes cuando no presten servicios de explotación. Las dimensiones de esta playa corresponderán a la flota de trenes, con una reserva para posibles ampliaciones futuras. En el diseño del trazado se propondrá el uso de los aparatos de vía necesarios /desvíos o travesías para poder realizar todos los itinerarios posibles entre las vías internas y el acceso a la línea. Los parámetros a utilizar para la realización del trazado deben permitir limitar los efectos de la fuerza centrífuga. Entre otros, se deben tener en cuenta el radio mínimo de curvatura, limitación de la aceleración compensada, curvas de transición, cálculo del peralte, etc.

10.14.3.4 Descripción funcional diseño del patio taller

10.14.3.4.1 Funcionalidad

El espacio del taller debe diseñarse como un espacio libre de elementos de división que permita los usos previstos. La longitud del taller será suficiente para tener tramos de vías con capacidad para realizar todas las operaciones en los trenes sin necesidad de desacoplarlos. Así mismo, tendrá gálibo suficiente para disponer de uno o varios puentes grúa a lo ancho del taller que permita el paso del material móvil.

También habrá que prever espacio para los vehículos auxiliares de mantenimiento. Este espacio se diseñará para que también se puedan realizar las labores de mantenimiento de aquellos vehículos, estando su flota compuesta por un vehículo Bivial (vía - carretera) para realizar las funciones de encarrilamiento, una dresina de línea aérea, una dresina de vía, vagonetas portamateriales y un tractor.

Se completarán estos vehículos auxiliares con equipos de accesorios tales como: cesta, plataforma, grúa y sistema de encarrilamiento.

10.14.3.4.2 Movilidad y accesibilidad

El acceso al taller se hará tanto desde el exterior (acceso directo de la calle) como a través de las vías. En todos los casos existirá el correspondiente control de accesos.

Se estudiará la circulación de trenes entre taller y patios, la circulación de trenes entre los patios y la línea de servicio del metro, la circulación y estacionamiento en el recinto de vehículos privados y comerciales, y la circulación peatonal en el recinto.

10.14.3.4.3 Confort

Las instalaciones serán usadas únicamente por el personal de mantenimiento (propio del explotador o subcontratado). El proyecto contempla los parámetros de ventilación natural del taller y las instalaciones de climatización necesarias.

Para el Patio Taller, se implementarán estrategias de diseño como son la ventilación natural para los espacios de las diferentes edificaciones del patio Taller, esto dependiendo de su uso, y el Diseño peatonal que facilite la circulación de los ocupantes y la integración de las diferentes edificaciones dentro del Patio Taller. Las instalaciones serán usadas únicamente por el personal de mantenimiento.

El proyecto contempla los parámetros de ventilación del taller y las instalaciones de climatización necesarias.

Es necesario tener en cuenta el espacio necesario para los vehículos auxiliares de mantenimiento de manera que en estos vehículos también se puedan realizar el mantenimiento respectivo.

NTC 5183 – Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. Tendrá aplicación en lo que respecta a los requisitos de ventilación para espacios destinados a ocupación humana y especifica las cantidades mínimas y las recomendadas de aire ventilado para preservar la salud y bienestar de los ocupantes.

Las diferentes zonas de trabajo en el taller y la accesibilidad a las distintas vías de la cochera se diseñarán de manera que pueda optimizarse el flujo de personas y materiales.

La organización del taller y los patios, así como la implantación de las diferentes infraestructuras se hará teniendo en cuenta sus funcionalidades.

10.14.3.4.4 Seguridad ferroviaria

Se estudiará la circulación de trenes entre taller y patios, la circulación de trenes entre los patios, y la línea de servicio del metro, la circulación en el recinto de vehículos privados y comerciales, y la circulación peatonal en el recinto.

Los talleres se señalizarán para una conducción manual de marcha a la vista. Los movimientos de los trenes en el interior de los talleres serán controlados desde el PMLT (Puesto de Mando Local de Taller).

El Taller se dedicará al mantenimiento del material Móvil siendo este de tres tipos:

1- Mantenimiento Preventivo de ciclo corto (menos de tres años). El análisis de este mantenimiento a lo largo de los primeros años será la base para el establecimiento del Mantenimiento Predictivo.

2- Mantenimiento Preventivo de ciclo largo (más de tres años). Consistente en algunos casos en revisiones modulares o por aparatos, revisiones de fines de ciclo de vida útil u overhaul bien sea de todo el vehículo o de partes del mismo.

3- Mantenimiento Correctivo (reparación de anomalías). La reparación de los aparatos de alta tecnología y las revisiones de los equipos al final de ciclo de vida útil las (recomendado) realizará un taller especializado o su fabricante quienes disponen de los aparatos de medida y control para un nuevo ciclo de funcionamiento. También, habrá una zona destinada a los vehículos auxiliares de mantenimiento y sus equipos para realizar su puesta a punto y revisiones.

10.14.3.4.4 Seguridad física

El recinto contará con control de accesos y sistema de vigilancia centralizado en el Puesto de Control compuesto por videocámaras.

Se deberá realizar un estudio de evacuación con el fin de garantizar el cumplimiento de los recorridos de evacuación de emergencia teniendo en cuenta los criterios establecidos según la normativa NTC 1700- Higiene y seguridad. Medidas en edificaciones.

Medidas de evacuación: tendrá aplicación en lo que respecta a los requisitos mínimos que deben cumplir los medios de salida para facilitar la evacuación de los ocupantes de una edificación, en caso de fuego u otra emergencia.

NSR-10 (2010) Título J y K. Tendrá aplicación en lo que respecta a los anchos de circulación, rutas de evacuación, materiales de protección contra el fuego, seguridad y confort de las edificaciones.

NFPA-101: National Fire Protection Association 101, Life Safety Code. Tendrá aplicación en lo que respecta a la seguridad humana basada en las características de construcción, protección y ocupación en todos los niveles del ciclo de vida útil del edificio.

10.14.3.5 Criterios de Diseño Patio Taller

10.14.3.5.1 Criterios Arquitectónicos

Para el Patio Taller, se implementarán estrategias ambientales relacionadas con el aprovechamiento de los recursos naturales. Para esto, se efectuarán estrategias de diseño, tales como:

- Ventilación natural para los espacios de las edificaciones del patio taller que lo permitan.
- Diseño peatonal que integre las edificaciones facilitando la circulación de los ocupantes dentro del Patio Taller.

En el abordaje de cada uno de los espacios que componen las edificaciones del Patio Taller, se priorizará la ventilación natural para una adecuada renovación y circulación del aire, teniendo ventilación mecánica solo en los espacios donde la ventilación natural no es posible.

Dentro de la propuesta de interiorismo arquitectónico y su exterior, queremos reflejar el uso de materiales duraderos y de fácil montaje y mantenimiento, tanto por su sistema constructivo como por su disponibilidad en el mercado local. Para el desarrollo arquitectónico de las edificaciones se tendrán como base, los siguientes criterios:

- Criterios de diseño: arquitectura funcional y sostenible.
- Criterios de materialidad que respondan a las necesidades del proyecto y la normativa vigente.
- Criterios de seguridad humana, zonas seguras y rutas de evacuación.
- Criterios de accesibilidad e inclusión y señalética.

Por último, es importante resaltar que la definición de la materialidad en las edificaciones tiene la intención de generar un diseño que permita su integración con el entorno existente y la interacción con el diseño urbano propuesto para todo el corredor que forma parte del proyecto.

10.14.3.5.2 Criterios de Materialidad

Con los sistemas constructivos y acabados arquitectónicos que se están considerando para el diseño, vamos a garantizar el confort de los empleados y el público en general, cumpliendo de manera prioritaria con la funcionalidad de los espacios para el desarrollo de las actividades que se realizan a diario en su interior.

Se consideran los siguientes materiales para las edificaciones del Patio Taller.

10.14.3.5.2.1 Muros exteriores opacos

- Fachadas en muro de mampostería en bloque estructural concreto.
- Fachada con paneles metálicos en Aluzinc sin aislamiento térmico.

La selección de uno de los dos muros exteriores, su acabado y su aislamiento térmico final se definirá durante el desarrollo de los diseños arquitectónicos.

10.14.3.5.2.2 Ventanería

- Ventanería en aluminio con vidrio laminado con tratamiento bajo emisivo o con película solar.
- Ventanería en aluminio con vidrio doble con cámara de aire. Cara exterior en vidrio Laminado con tratamiento bajo emisivo o con película solar. Cara interior de vidrio laminado.

La selección de uno de los dos tipos de sistemas de vidrio y su aislamiento térmico final se definirá durante el desarrollo de los diseños arquitectónicos.

10.14.3.5.2.3 Cubierta

- Cubierta metálica en Aluzinc Arquitectónica sin aislamiento térmico.
- Cubierta metálica tipo Sándwich Arquitectónica con aislamiento térmico en Manto de Fibra de Vidrio, o Poliisocianurato (PIR).
- Cubierta en placa de concreto.

La selección del tipo de cubierta, su acabado y aislamiento térmico final se definirá durante el desarrollo de los diseños arquitectónicos de cada uno de los edificios del Patio Taller.

Dentro de los procesos de coordinación, especificación e ingeniería de valor con las otras disciplinas pueden explorarse otras opciones de materiales que cumplan con los criterios bioclimáticos y funcionales que se requieran.



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

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

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ... | 5 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ... | 6 |
| 10.14. PATIOS Y TALLERES | 6 |
| 10.14.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO | 6 |
| 10.14.2. REDES HIDROSANITARIAS | 10 |
| 10.14.2.1. REDES DE DRENAJE | 10 |
| 10.14.2.1.1. Normatividad aplicable | 10 |
| 10.14.2.1.2. Criterios de traslado de redes por interferencias | 12 |
| 10.14.2.1.3. Cálculo de caudales de sistemas de alcantarillado | 12 |
| 10.14.2.1.4. Parámetros de diseño hidráulico | 18 |
| 10.14.2.1.4.1. Análisis hidráulico | 18 |
| 10.14.2.1.4.2. Material de las redes proyectadas | 18 |
| 10.14.2.1.4.2. Parámetros hidráulicos | 19 |
| 10.14.2.1.5. Drenaje vial | 22 |
| 10.14.2.1.6. Redes de alcantarillado de aguas recirculadas y residuales industriales | 22 |
| 10.14.2.1.7. Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible - SUDS | 23 |
| 10.14.2.2. REDES HIDROSANITARIAS DE EDIFICACIONES | 23 |
| 10.14.2.2.1. Normatividad aplicable | 23 |
| 10.14.2.2.2. Criterios de diseño | 24 |
| 10.14.2.2.2.1. Conducción de agua potable | 25 |
| 10.14.2.2.2.1.1. Pérdidas menores | 26 |
| 10.14.2.2.2.1.2. Caudal de Diseño | 29 |
| 10.14.2.2.2.1.3. Pérdidas por accesorios | 31 |
| 10.14.2.2.2.1.4. Velocidad de diseño | 32 |
| 10.14.2.2.2.1.5. Tipo de tuberías y presiones de trabajo | 32 |
| 10.14.2.2.2.1.6. Accesorios para el control hidráulico en la conducción | 33 |
| 10.14.2.2.2.1.7. Descripción general del sistema hidráulico de agua potable | 33 |
| 10.14.2.2.2.2. Red de drenaje sanitario | 34 |
| 10.14.2.2.2.2.1. Caudal de diseño de la red de drenaje sanitario | 34 |
| 10.14.2.2.2.2.2. Cálculo de caudales | 34 |
| 10.14.2.2.2.2.3. Velocidad de diseño y fuerza tractiva | 34 |
| 10.14.2.2.2.2.4. Coeficiente de rugosidad de Manning | 35 |
| 10.14.2.2.2.2.5. Velocidad mínima | 35 |
| 10.14.2.2.2.2.6. Diámetro mínimo | 35 |
| 10.14.2.2.2.2.7. Tipo de tubería de la red de drenaje sanitario | 36 |
| 10.14.2.2.2.3. Red de drenaje pluvial | 36 |
| 10.14.2.2.2.3.1. Caudal de diseño | 37 |
| 10.14.2.2.2.3.2. Coeficiente de escorrentía | 37 |

| | |
|--|----|
| 10.14.2.2.2.3.3. Intensidad de la precipitación | 39 |
| 10.14.2.2.2.3.4. Periodo de retorno y tiempo de concentración | 39 |
| 10.14.2.2.2.3.5. Velocidad de diseño y fuerza tractiva | 39 |
| 10.14.2.2.2.3.6. Coeficiente de rugosidad de Manning | 39 |
| 10.14.2.2.2.3.7. Velocidad mínima | 40 |
| 10.14.2.2.2.3.8. Diámetro interno mínimo | 40 |
| 10.14.2.2.2.3.9. Dimensionamiento de las bajantes para las cubiertas | 40 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de normas de la EAB-ESP para el diseño de sistemas de alcantarillado

Tabla 2. Periodos de retorno mínimo según el grado de protección del sistema.

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía (C)

Tabla 4. Valores K metodología de Kirpich

Tabla 5. Factor de Maximización norma NS-085 - EAAB-ESP

Tabla 6. Parámetros hidráulicos

Tabla 7. Parámetros hidráulicos del diseño de redes pluviales

Tabla 8. Relación máxima de tubo y/D para sistemas residuales

Tabla 9. Listado de normas para el diseño de redes hidrosanitarias

Tabla 10. Coeficientes de pérdida (Ks) para materiales de tuberías

Tabla 11. Coeficientes de pérdida (km) para accesorios

Tabla 12. Unidades de consumo y presiones requeridas

Tabla 13. Equivalencia de las unidades de consumo en caudal (l/s)

Tabla 14. Longitudes equivalentes en metros de tubería rectilínea para el cálculo de las pérdidas por accesorios

Tabla 15. Dimensionamiento del múltiple (Manifold)

Tabla 16. Unidades de los aparatos según el método de Hunter

Tabla 17. Máximo número de unidades de desagüe

Tabla 18. Coeficientes de escorrentía

Tabla 19. Valores de caudal

Tabla 20. Áreas máximas para bajantes de aguas lluvias (m²)

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

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

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...

10.14. PATIOS Y TALLERES

10.14.1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

En el estudio hidrológico, para la revisión del nivel del agua del Río Bogotá, primero se establece la estación con mejor localización disponible para la definición del caudal máximo instantáneo. En la Figura 1, se puede ilustrar la ubicación de la estación Puente La Virgen del EAAB, y del Patio Taller.

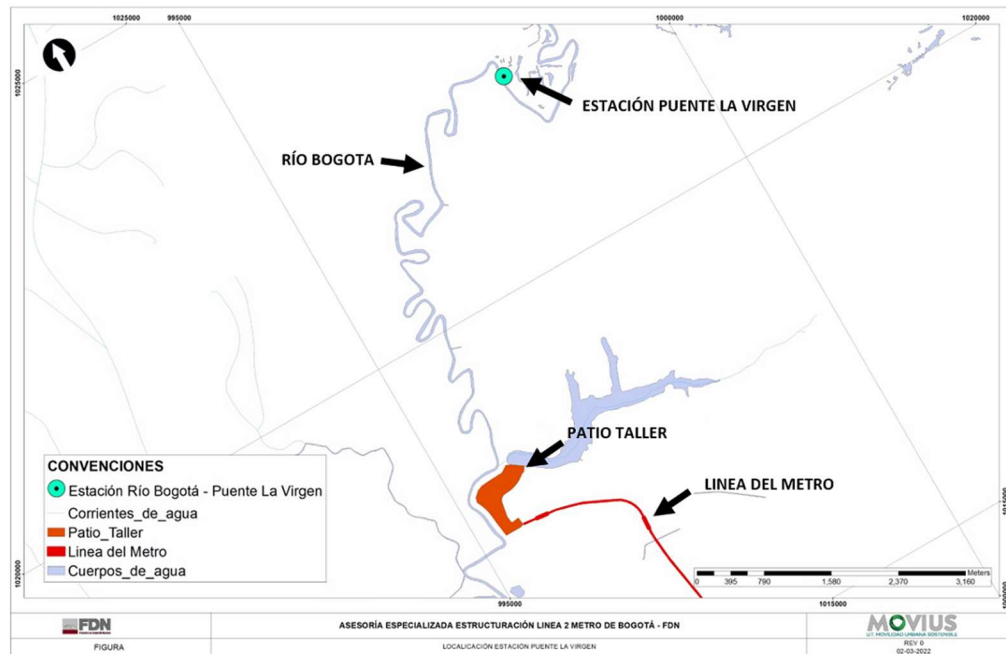


Figura 1. Localización de la estación Puente La Virgen.

A partir de los caudales máximos instantáneos dados por el EAAB para la estación Puente Virgen, se define el ajuste de máximos ilustrado en la Figura 2, de los métodos calculados se selecciona el de Log-Pearson y aplicando un factor de mayoramiento de 1,5164, se obtiene un caudal máximo instantáneo de 165,896 m³/s para un periodo de retorno de 1000 años y 105.5 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

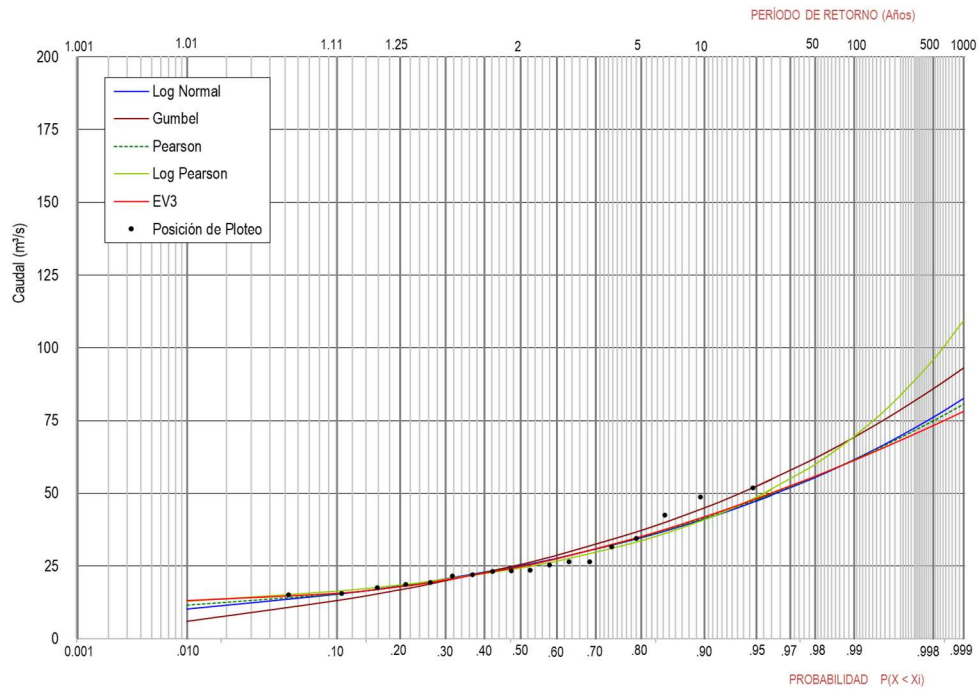


Figura 2. Ajuste de caudales máximos instantáneos.

En base al modelo hidrológico HEC-RAS realizado por la CAR del río de Bogotá y al caudal previamente definido para un periodo de retorno de 1000 años, se logra definir que el nivel de agua es de 2545.21 msnm (Figura 3).

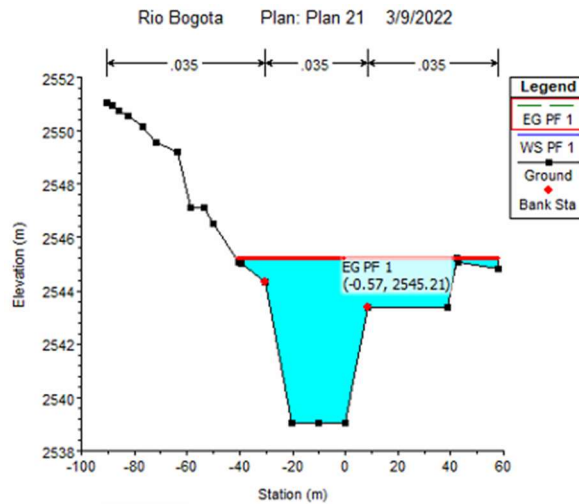


Figura 3. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años, con el modelo digital HEC-RAS de la CAR.

Posteriormente realiza un modelo digital en HEC-RAS con la sección dragada definida por la CAR (Figura 5), en donde se tomaron los mismos parámetros establecidos para la sección dragada por la CAR para la definición del modelo digital en HEC-RAS:

- Fondo del Cauce: 20 m¹
- Coeficiente de rugosidad de Manning: 0.35 m para el canal y 0.050 para las banquetas.
- Coeficiente de expansión: 0.3
- Coeficiente de contracción: 0.1
- Pendiente longitudinal: 0.000073 m/m
- Cota Jarillón: 2544.7 m

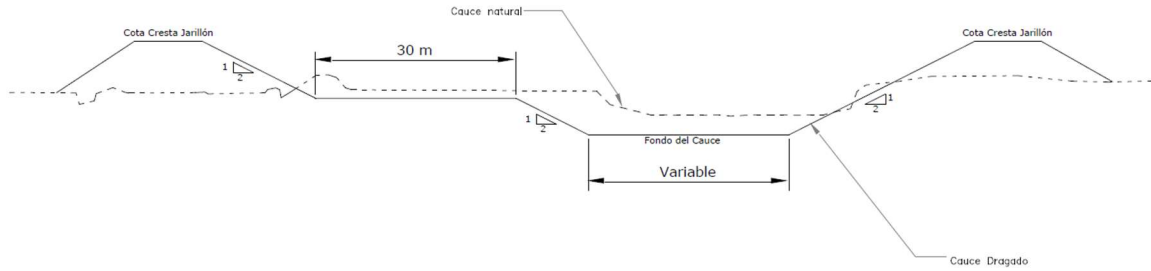


Figura 5. Sección Típica Adecuación Hidráulica del río Bogotá.
Fuente: CAR, 2018.

Luego de establecer las variables dentro del modelo digital, se obtiene un nivel del agua de 2543.84 m para un periodo de retorno de 100 años y 2545.08 m para un periodo de retorno de 1000 años. Al observar los resultados se observa que el nivel del agua para el periodo de retorno de 1000 años sobrepasaría la cota del jarillón propuesta por la CAR.

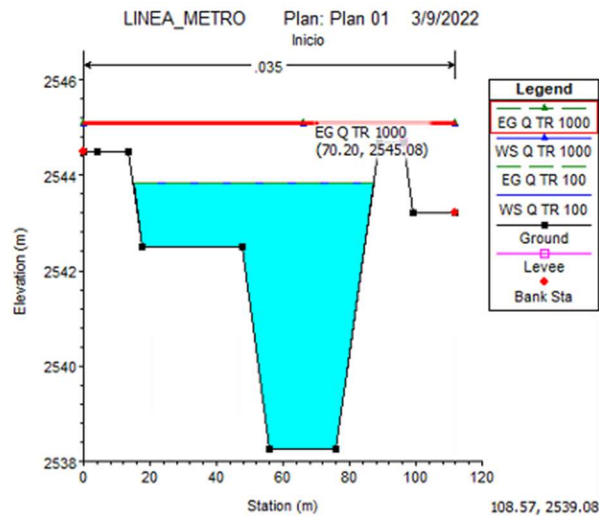


Figura 6. Figura 3. Nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años Y 100 años para la sección dragada.

Sin embargo, al comparar las secciones con un modelo digital (DTM) realizado por INGETEC a inicios de 2022 (Figura 4) y con el modelo DTM de la CAR del río Bogotá suministrado en el 2018, se observa que la altura del jarillón no coincide y tampoco es constante. En los modelos se detecta una diferencia de cotas de 0.5-2.0 m, esto puede deberse a las diferentes causas:

¹ Ancho fondo para el tramo Salitre - Puente La Virgen

- Uso de diferentes tecnologías (Topografía convencional, levantamiento tecnología LiDAR)
- Diferentes amarres utilizados en los dos levantamientos para X, Y, Z
- Periodo diferentes de la época de los levantamientos.
- Diferencias en las triangulaciones realizadas para la obtención de DTM, el de la CAR a partir de la nube de puntos en cada sitio de la sección de terreno y de la batimetría en el cauce del río. El DTM de la L2MB nube de puntos densa en el terreno.



Figura 4. Modelo Digital del Terreno, 2022.

No obstante, la altura del modelo digital de terreno realizada por Ingetec demuestra que el nivel del agua para un periodo de retorno de 1000 años el nivel del agua no se sobrepasará y teóricamente no afectará la estructura Patio Taller. En la Figura 7 se muestra que la cota del jarillón actual no es constante, pero siempre superior al nivel del agua, mientras que la altura propuesta por la CAR es inferior al nivel del agua de 1000 años.

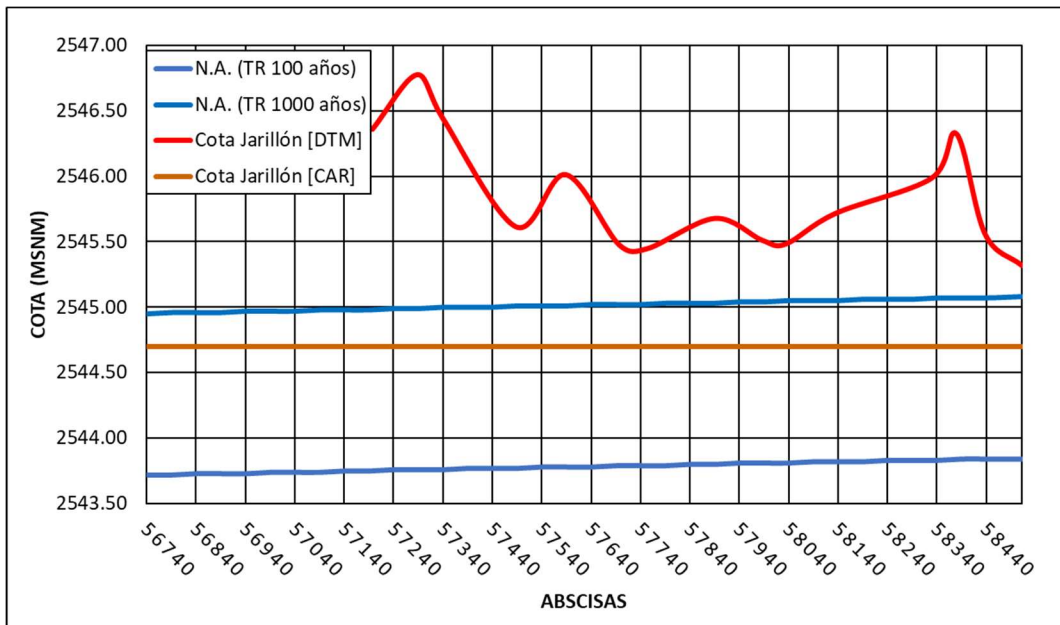


Figura 7. Nivel del agua y del Jarillón.

10.14.2. REDES HIDROSANITARIAS

En este capítulo se describen los criterios, metodologías y normatividad utilizadas para elaboración de los diseños para el drenaje de las redes de alcantarillado pluvial de las vías de acceso del patio taller, el drenaje de agua residual y las redes hidrosanitarias de las edificaciones que conforman el patio taller para la operación de la Línea 2 del Metro de Bogotá. Los diseños anteriormente mencionados se vienen efectuando teniendo en cuenta lo establecido en la Ley 1682 de 2013 "Ley de Infraestructura".

10.14.2.1. REDES DE DRENAJE

10.14.2.1.1. Normatividad aplicable

Para el diseño de las redes de alcantarillado se utilizan las Normas Técnicas de la EAAB-ESP, las cuales se relacionan en la Tabla 1 y se encuentran publicadas en el Sistema de Información de Normalización Técnica; de igual manera, se emplean lineamientos establecidos en el RAS-Resolución 0330 de 2017, en lo que no se encuentre específicamente normalizado a nivel local.

Tabla 1. Listado de normas de la EAB-ESP para el diseño de sistemas de alcantarillado

| CÓDIGO | TÍTULO |
|--------|---|
| NS-002 | Criterios de Diseño Estructural para obras hidráulicas |
| NS-010 | Requisitos para la elaboración y presentación de Estudios Geotécnicos |
| NS-012 | Aspectos técnicos para cruces y detección de interferencias en construcción de sistemas de acueducto y alcantarillado |
| NS-029 | Pozos de Inspección |
| NS-030 | Topografía para diseño y construcción de obras requeridas para los sistemas de acueducto y alcantarillado |
| NS-035 | Requerimientos para cimentación de tuberías de acueducto y alcantarillado |
| NS-046 | Requisitos para la elaboración y entrega de planos de obra construida de redes de acueducto y alcantarillado |
| NS-047 | Sumideros |
| NS-054 | Presentación de diseños de sistemas de alcantarillado |
| NS-057 | Cunetas y canaletas de drenaje superficial |
| NS-068 | Conexiones domiciliarias de alcantarillado |
| NS-076 | Requerimientos para diseño y construcción de obras de protección de taludes |
| NS-085 | Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado |
| NS-090 | Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado |
| NS-122 | Aspectos técnicos para diseño y construcción de subdrenajes |
| NS-123 | Criterios para la selección de materiales de la tuberías para redes de acueducto y alcantarillado |
| NS-139 | Requisitos para la determinación del ancho mínimo del derecho de vía en redes de acueducto y alcantarillado |
| NS-142 | Esquemas típicos de cabezales de entrega a canales en redes de alcantarillado |

| CÓDIGO | TÍTULO |
|--------|---|
| NP-005 | Concretos y morteros |
| NP-023 | Rejillas y tapas para sumideros |
| NP-024 | Tapas, arotapas y arobases para pozos de inspección |
| NP-027 | Tuberías para alcantarillado |
| NP-040 | Rellenos |

10.14.2.1.2. Criterios de traslado de redes por interferencias

Las redes de acueducto y alcantarillado, serán proyectadas hasta ser conectadas a las redes existentes más cercanas al predio; de acuerdo con la información consultada en la base de datos georreferenciada de la EAAB-ESP SIGUE no se presenta interferencia alguna . En la zona de proyección para la construcción del edificio de Patio Taller de la L2MB no se evidencian redes construidas .

10.14.2.1.3. Cálculo de caudales de sistemas de alcantarillado

Se presentan a continuación los criterios de diseño del sistema de alcantarillado.

- Periodo de retorno de diseño

De acuerdo con la importancia de las áreas de drenaje, la norma NS-085 v 4.1 en el numeral 4.3.1.2 define los siguientes periodos de retorno de las estructuras de drenaje pluvial a proyectar

Tabla 2.Periodos de retorno mínimo según el grado de protección del sistema.

| Características del área de drenaje | Periodo de retorno para diseño (años) |
|--|---------------------------------------|
| Tramos pertenecientes a la red local y secundaria de alcantarillado en zonas residenciales, comerciales, industriales, institucionales o mixtas. | 5 |
| Tramos de la red troncal de alcantarillado, zonas comerciales de alto valor e infraestructura especial como Aeropuertos, | 10 |

| Características del área de drenaje | Periodo de retorno para diseño (años) |
|--|---------------------------------------|
| Hospitales, Centros de emergencia y Deprimidos Viales | |
| Canales abiertos y adecuación de cauces de ríos y quebradas de cualquier área. | 100 |

- Estimación de caudales pluviales

La estimación de caudales se adelanta con la metodología para redes locales y redes con áreas aferentes menores a 80 ha.

Para el dimensionamiento del sistema de drenaje de aguas lluvias, y específicamente para redes locales con un área de drenaje inferior a 80 ha se utilizará el método racional con el fin de determinar el caudal de diseño de las obras a proyectar. La fórmula que representa el valor del caudal por el método racional es de la forma:

$$Q = 2.78 * C * I * A$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (l/s)

A: Área de drenaje (Ha)

I: Intensidad de la lluvia para una duración igual al Tc del área de drenaje y un Tr determinado (mm/h)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional).

Cada una de las variables anteriormente mencionadas está definida como se lista a continuación

- Área de drenaje: Área aferente a cada uno de los tramos a diseñar y/o evaluar
- Coeficiente de Escorrentía C: Para el caso de este parámetro (que se calcula en función del tipo de suelo del área tributaria, grado de permeabilidad de la zona, pendiente de terreno, etc) se realizará una ponderación para todas aquellas áreas que presenten diferentes tipos de cobertura con el fin de determinar un valor representativo del área aferente

$$C = \frac{(\sum C * A)}{\sum A}$$

Donde:

C=Coeficiente de escorrentía

A=Área tributaria de drenaje (ha)

Para la definición del coeficiente de escorrentía se emplearán los valores consignados en la Tabla 3

Tabla 3. Coeficientes de escorrentía (C)

| Características de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Áreas desarrolladas | | | | | |
| Asfáltico | 0,77 | 0,81 | 0,86 | 0,9 | 0,95 |
| Concreto/techo | 0,8 | 0,83 | 0,88 | 0,92 | 0,97 |
| Zonas verdes (jardines, parques, etc) | | | | | |
| Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,34 | 0,37 | 0,4 | 0,44 | 0,47 |
| Promedio 2-7% | 0,4 | 0,43 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| Pendiente superior a 7% | 0,43 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,55 |
| Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,28 | 0,3 | 0,34 | 0,37 | 0,41 |
| Promedio 2-7% | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 |
| Pendiente superior a 7% | 0,4 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,23 | 0,25 | 0,29 | 0,32 | 0,36 |
| Promedio 2-7% | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,42 | 0,46 |
| Pendiente superior a 7% | 0,37 | 0,4 | 0,44 | 0,47 | 0,51 |
| Áreas no desarrolladas | | | | | |
| Área de cultivos | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 |
| Promedio 2-7% | 0,38 | 0,41 | 0,44 | 0,48 | 0,51 |
| Pendiente superior a 7% | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,54 |
| Pastizales | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,41 |

| Características de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | | |
|----------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Promedio 2-7% | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 |
| Pendiente superior a 7% | 0,40 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| Bosques | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,39 |
| Promedio 2-7% | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 |
| Pendiente superior a 7% | 0,39 | 0,41 | 0,45 | 0,48 | 0,52 |

- Intensidad de lluvia: La intensidad de la lluvia se determina a partir del periodo de retorno, la frecuencia y duración de la tormenta de diseño. Los datos para los diferentes periodos de retorno (solicitados a la EAAB) permiten obtener la intensidad utilizando la siguiente expresión

$$I = C_1 * (Duracion + X_0)^{C_2}$$

Donde

I: Intensidad de la lluvia (mm/h)

Duración (min)

C_1 , X_0 y C_2 suministrados por la EAAB (adim)

- Periodo de Retorno de Diseño: El periodo de retorno de diseño para la proyección de la infraestructura será el indicado en la Tabla 3.
- Tiempo de Concentración: Para el cálculo del tiempo de concentración se tendrá en cuenta la definición dada en el numeral 4.1 4.3.1.3.2 de la norma NS-085 v4.1 que define este parámetro de la siguiente forma:

$$t_c = t_e + t_t$$

Donde:

t_c es el tiempo de concentración (min)

t_e es el tiempo de entrada (min)

t_t es el tiempo de tránsito (min)

Para el cálculo del tiempo de entrada se emplea la metodología de Kirpich

$$t_e = 3.9756 * K * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde:

L Longitud desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de interés (km)

El parámetro K corresponde a un factor que puede tomar los siguientes valores dependiendo el tipo de superficie del área de estudio:

Tabla 4. Valores K metodología de Kirpich

| Tipo de Superficie | Valor de K |
|---------------------------------|------------|
| Concreto o superficie Asfáltica | 0,4 |
| Canal en concreto | 0,2 |
| Suelo y canal natural | 1.0 |

La pendiente media ponderada del cauce (S en m/m) se calculará mediante el método de Taylor y Schwarz

$$S = \left[\frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right]^{-2}$$

Donde:

l_i Longitud del subtramo de evaluación (m)

S_i Pendiente del subtramo en evaluación (m)

Para el cálculo del tiempo de tránsito se utilizara la ecuación del método de velocidad del SCS asumiendo una profundidad de agua igual al 80% de la profundidad máxima

$$t_t = \frac{1}{60} * \sum \frac{L}{V}$$

Donde:

t_t es el tiempo de tránsito (min)

L es la longitud de la trayectoria del flujo (m)

V es el promedio de la velocidad del flujo de agua (m/s) calculada mediante la fórmula de manning

$$v = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V es la velocidad de flujo (m/s)

n es el coeficiente de rugosidad de Manning.

R es el radio hidráulico (m)

S es la pendiente del conducto (m/m)

Para el caso del método racional, se trabajara con áreas de drenaje y tiempos de concentración acumulados

El tiempo de entrada será mínimo de 8 minutos; el tiempo de concentración en pozos iniciales será mínimo de 15 minutos

- Estimación de caudales residuales

Por su parte, para la estimación de los caudales de las redes troncales del sistema residual se calcularán a partir de estudios de proyecciones de población y demanda a condiciones de saturación aprobados por la EAAB. En el caso de que se requiera el traslado de redes combinadas, se seleccionará el caudal mayor entre el caudal de diseño y el caudal de dilución.

El caudal de diseño está dado por la sumatoria del caudal máximo horario del día máximo, por los aportes de infiltración y por las conexiones erradas, como se puede ver en la siguiente ecuación:

$$Q_{DT} = Q_{MHf} + Q_{inf} + Q_{CE}$$

Donde:

Q_{DT} es el caudal de diseño para cada tramo de la red (l/s)

Q_{MHf} es el caudal máximo horario a saturación (l/s)

Q_{INF} es el caudal por infiltraciones (l/s)

Q_{CE} es el caudal por conexiones erradas (l/s)

En caso de que el caudal de diseño sea menor a 1,5 l/s, se deberá emplear este valor como caudal de diseño.

Para la determinación del caudal máximo horario se utilizará el caudal medio diario y empleando un factor de maximización, el cual involucra variaciones en el consumo del agua por parte de la población.

$$Q_{MHf} = F + Q_{md}$$

En la Tabla 5 se presentan los valores del factor de maximización según la norma.

Tabla 5. Factor de Maximización norma NS-085 - EAAB-ESP

| Factor de Maximización | Población (hab) |
|------------------------|--|
| 2,1 | Mayor de 500.000 |
| 2,3 | Mayor de 100.000 y menor o igual a 500.000 |
| 3,0 | Menor de 100.000 |

El caudal medio diario de aguas residuales (Q_{md}) se define como la sumatoria de los aportes domésticos, industriales, comerciales e institucionales.

$$Q_{md} = Q_d + Q_i + Q_c + Q_{in}$$

Donde:

Q_{md} es el caudal medio diario de aguas residuales (l/s)

Q_d es el caudal de aguas residuales domésticas (l/s)

Q_i es el caudal de aguas residuales industriales (l/s)

Q_c es el caudal de aguas residuales comerciales (l/s)

Q_{in} es el caudal de aguas residuales institucionales (l/s)

Los caudales domésticos, industriales, comerciales e institucionales se estimarán a partir de los estudios de población y demanda vigentes aprobados por la EAAB.

Los caudales por infiltración y por conexiones erradas se determinarán de acuerdo con lo establecido en la norma NS-085 de la EAAB-ESP en la cual se establece un valor unitario de aporte por infiltración en cada sector de la ciudad, dividido de la siguiente forma: infiltración alta = 0,20 l/s-ha, infiltración baja = 0,10 l/s-ha. Para las conexiones erradas se establecerá un valor máximo de 0,20 l/s-ha.

Se considera que independientemente del caudal resultante, la red a trasladar proyectada no presentará reducciones de diámetros garantizando que con el proyecto no se afecten las condiciones actuales.

10.14.2.1.4. *Parámetros de diseño hidráulico*

10.14.2.1.4.1. *Análisis hidráulico*

Para el análisis hidráulico de los conductos a diseñar se seguirán las directrices del Análisis hidráulico de la norma NS-085 v4.1 que a grandes rasgos enuncia lo siguiente:

- Los cálculos hidráulicos para el diseño podrán realizarse con el caudal máximo bajo hipótesis de flujo uniforme mediante el uso de la fórmula de Manning
- Los diseños realizados se comprobarán mediante modelos hidráulicos del sistema
- Todos los elementos se deben comprobar como mínimo bajo condiciones de Flujo Gradualmente Variado (FGV)
- Para el caso de elementos de la red troncal; además de la comprobación bajo condiciones de FGV, se debe realizar un análisis bajo condiciones de Flujo no Permanente.
- En los modelos hidráulicos se deben considerar condiciones iniciales y de frontera definidas, validadas y aprobadas por el personal de la EAAB-ESP responsable del proyecto

10.14.2.1.4.2. *Material de las redes proyectadas*

El material de las redes proyectadas seguirá los lineamientos definidos en la Norma Técnica de Servicio NS-123 en su versión vigente. No obstante, se tendrán en cuenta otros aspectos los cuales se describen a continuación:

- Disponibilidad, aplicabilidad y frecuencia de uso por parte de la EAAB-ESP

Teniendo en cuenta la variedad de diámetros comerciales disponibles para las tuberías de alcantarillado, además de la aplicabilidad y frecuencia de uso por parte de la EAAB-ESP se establece que las tuberías en PVC, fibra de vidrio GRP y concreto son los materiales más utilizados en este tipo de proyectos.

- Parámetro hidráulico

Analizando el caudal a transportar y la capacidad de las tuberías en función de su coeficiente de rugosidad del material en evaluación, se observa que, en un rango de caudales, entre tuberías rígidas y flexibles en diámetros pequeños entre 8" y 20" no se presentan diferencias considerables. Sin embargo, a medida que la sección transversal de la tubería va aumentando, en diámetros superiores a 24", sí se tienen variaciones significativas representadas en mayor capacidad de transporte del flujo a una menor pendiente para el material de PVC, lo cual resulta ser una opción importante en la selección del material. Adicionalmente, si se analiza el parámetro de las velocidades máximas admisibles, el PVC tiene un valor de 9 m/s, mientras que el concreto y el GRP tienen un valor de 6 m/s y 4 m/s, respectivamente; por lo que, de acuerdo con una topografía del terreno relativamente plana el PVC tendrá una mejor favorabilidad en este aspecto, reflejada en un mejor arrastre de sedimentos garantizando mejores condiciones de auto limpieza en la red.

- Parámetro estructural - geotécnico

Las tuberías de PVC por el hecho de ser flexibles brindan estabilidad frente a las condiciones del suelo, así mismo, su peso hace que sean menos propensas a roturas o fisuras en el momento de su transporte o manipulación directa en su instalación, no obstante, dependen de una correcta cimentación. Por su parte GRP y concreto al ser materiales más pesados, en terreno pueden tener rendimientos más bajos por sus condiciones de maniobrabilidad durante la instalación. Sin embargo, es importante tener en cuenta los límites en las deflexiones en las tuberías de PVC, que en diámetros superiores a 36" pueden presentar deformaciones exageradas en el cuerpo de las tuberías, ocasionando problemas estructurales por lo que su rigidez se ve comprometida.

Con el fin de prevenir deformaciones que puedan impedir el funcionamiento correcto de las redes de alcantarillado que se encuentran en zonas donde los niveles de esfuerzo son mayores, se recomienda el uso de tuberías rígidas tipo concreto o concreto reforzado, en vez del uso de tuberías flexibles.

- Parámetro económico

Adicionalmente, se contemplan opciones económicas de menor costo, preliminarmente se utilizarán materiales de PVC para diámetros menores a 0,90 m, GRP para diámetros mayores a 0,90 m y tuberías en concreto reforzado para cruces transversales. No obstante, con la respectiva evaluación geotécnica se definirá el material propuesto en el diseño.

10.14.2.1.4.2. Parámetros hidráulicos

Para los estudios y diseños de las redes de alcantarillado se seguirán los requerimientos hidráulicos de diseño establecidos por las normas vigentes de la EAAB-ESP, dentro de los cuales vale la pena destacar los parámetros registrados en la Tabla 6 y la Tabla 7.

Tabla 6. Parámetros hidráulicos del diseño de redes residuales

| ALCANTARILLADO RESIDUAL | |
|--|--|
| Parámetro | Valor |
| Capacidad a tubo lleno Q/Qo | Debe ser menor o igual a 1 |
| Velocidad mínima | Aquella que garantice la fuerza tractiva mínima para el Q_{MH} |
| Velocidad máxima para tubería en concreto | 6,0 m/s |
| Velocidad máxima para tubería en PVC | 9,0 m/s |
| Velocidad máxima para tubería en GRP | 4,0 m/s |
| Fuerza tractiva mínima (diámetros menores a 450 mm) | 0,15 kg/m ² |
| Fuerza tractiva mínima (diámetros mayores a 450 mm) | 0,20 kg/m ² |
| Diámetro mínimo | 200 mm (8") |
| Profundidad mínima a cota clave (vías peatonales o zonas verdes) | 0,75 m |
| Profundidad mínima a cota clave (vías vehiculares) | 1,2 m |
| Profundidad máxima a cota clave | 5,0 m |

Tabla 7. Parámetros hidráulicos del diseño de redes pluviales

| ALCANTARILLADO PLUVIAL | |
|------------------------|-------|
| Parámetro | Valor |

| ALCANTARILLADO PLUVIAL | |
|---|---|
| Capacidad a tubo lleno Q/Qo | Debe ser menor o igual a 1 |
| Velocidad mínima | Aquella que garantice la fuerza tractiva mínima |
| Velocidad máxima para tubería en concreto | 6,0 m/s |
| Velocidad máxima para tubería en PVC | 9,0 m/s |
| Velocidad máxima para tubería en GRP | 4,0 m/s |
| Concreto fundido in situ (Box culvert) | 5,0 m/s |
| Fuerza tractiva mínima para caudal de diseño | 0,3 kg/m ² |
| Fuerza tractiva mínima para el 10% de la capacidad a tubo lleno | 0,15 kg/m ² |
| Diámetro mínimo | 300 mm (12") |
| Profundidad mínima a cota clave | 1,2 m |
| Profundidad máxima a cota clave | 5,0 m |
| Tiempo de concentración mínimo en pozos iniciales | 15 min |

Si bien los valores de profundidad mínimos y máximos registrados en las tablas anteriores corresponden a magnitudes sugeridas, estos valores pueden variar por condiciones inherentes al diseño como lo son las cotas de entrega. Cualquiera que sea la situación de profundidad, la profundidad mínima será tomada como aquella que permita garantizar criterios definidos en la norma NS-035 respecto a deflexiones, roturas de pared y aplastamiento de tubería.

Para el dimensionamiento de la sección, se buscará el cumplimiento de las relaciones máximas de profundidad de flujo y diámetro (Y/D) en función del diámetro de la tubería de manera tal que se propenda por la adecuada aireación de los colectores, considerando de ser necesario las excepciones que permite la misma norma.

En la Tabla 8 se presentan las relaciones definidas en la norma NS-085 para los diferentes rangos de diámetros a considerar para el sistema residual. En cuanto al sistema pluvial la relación máxima no deberá superar el 93%; para el

caso de los box culvert, la lámina de agua no deberá superar el 90% de la altura interna del mismo para condiciones de flujo uniforme.

Tabla 8. Relación máxima de tubo y/D para sistemas residuales

| Diámetro real interno (mm) | Relación máxima y/D (%) |
|----------------------------|-------------------------|
| Menor que 500 | 70 |
| Entre 500 y 1000 | 80 |
| Mayor que 1000 | 85 |

Es importante aclarar que no siempre será posible cumplir algunos de estos parámetros, dado que, al tratarse de traslados puntuales de redes, se tendrá la limitante de conectarse a las cotas de las redes a conservar aguas arriba y aguas abajo, lo cual limitará la posibilidad de aumentar las pendientes y cumplir a cabalidad la normativa actual, sumado al hecho que igualmente se tendrán restricciones en cuanto a los diámetros de las redes existentes que reciben los caudales de las redes a intervenir.

10.14.2.1.5. Drenaje vial

En los casos en los que por el proyecto se requieran intervenciones viales, la vía será reconstruida con las mismas condiciones de sección transversal y longitudinal existentes, por lo anterior, no se realizarán modificaciones que requieran el diseño de estructuras de drenaje. Por lo anterior, en caso de que se se presenten intervenciones que ocasionen afectaciones en sumideros, estos serán reconstruidos en las mismas condiciones en las que se encuentran actualmente y siguiendo los lineamientos establecidos en la NS-047, en su versión vigente.

10.14.2.1.6 Redes de alcantarillado de aguas recirculadas y residuales industriales

Se ha previsto que el agua empleada para el lavado de los trenes sea reutilizada por medio de un sistema de recirculación, tratamiento y almacenamiento. Ya que no es posible reusar el 100% del agua utilizada en cada ciclo de lavado, se prevé un sistema complementario que compense las pérdidas en el sistema con aguas lluvias captadas en superficies dentro del proyecto.

- Red de alcantarillado de aguas lluvias recirculadas.

Como se mencionó anteriormente, se proyectará un sistema para la recolección de aguas lluvias con el objeto de ser usadas para reponer la pérdida de agua en el proceso del lavado de los trenes que serán estacionados en el Patio Taller. Para el diseño de la red de drenaje de las aguas lluvias que serán recirculadas, las cuales tendrán los mismos criterios de la Red de Alcantarillado Pluvial.

- Red de alcantarillado de aguas grises recirculadas.

El agua de lavado de los trenes será recogida mediante cárcamos y conducida por medio de tuberías hasta conectar con la planta de tratamiento localizada en el Patio Taller, posteriormente el efluente será almacenado en el tanque de agua tratada y de allí se bombeará al sistema de lavado. Para el caso de que el sistema de agua tratada no cuente con el agua suficiente para el lavado de buses, se dejará proyectado un punto de agua potable para el llenado del mismo, el sistema será operado manualmente, dado que es un sistema de emergencia y por una condición excepcional. Una vez se realice el lavado de los trenes este proceso deberá aportar agua al sistema de reuso, por lo que se convierte en un sistema cerrado. El abastecimiento para el sistema de agua tratada solo está proyectado para el uso en el lavado de trenes.

- Red de alcantarillado de agua residual industrial.

La red de alcantarillado de agua residual industrial del Patio Taller, tiene la función de recoger el agua que pueda ingresar a los cárcamos de mantenimiento. La operación de estos cárcamos se hace en seco previendo los derrames de material contaminante provenientes de los mantenimientos y derrames que generen los trenes. Cuando se produce un derrame de aceites u otro material se recoge con materiales que absorban el derrame que luego se dispondrán en los recipientes previstos para tal fin. Sin embargo, se considera una red de agua residual industrial que pueda evacuar cualquier derrame que no pueda ser controlado de forma seca.

10.14.2.1.7 Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible - SUDS

Para el diseño de SUDS se contempla con base en la norma NS-166 Criterios para Diseño y Construcción de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS), emitida por la EAAB-ESP; esta norma, se toma como referencia para adelantar el diseño de las tipologías de SUDS.

- Jardines de Bioretención

Los jardines de bioretención no son que jardines filtrantes que se localizan sobre espacio público con el objetivo de retener aguas lluvias y filtrarlas al sistema de drenaje de la ciudad a directamente al suelo si la capacidad de infiltración lo permite; estos jardines están localizados sobre una depresión leve de máximo 150mm de profundidad y que a manera de sumidero recibe las aguas direccionadas por la inclinación de las zonas duras hacia él; la idea es que estos jardines retengan el agua lluvia y amortigüen los caudales que recibe el sistema de drenaje de la ciudad así como mejorar la calidad del agua que llega al sistema o que se descarga en el terreno.

- Tanque geocelular de tormenta

Los tanques geocelulares de tormenta son tanques subterráneos de retención de agua que funcionan como un sistema de drenaje urbano sostenible a través de la atenuación de caudales y del almacenamiento de agua lluvia en un sistema conformado por piezas prefabricadas en polipropileno; dicho sistema se entierra en espacio público en áreas como andenes, jardines, plazas, parqueaderos entre otros. Este sistema funciona en superficies que pueden o no tener cargas vivas o muertas.

10.14.2.2. REDES HIDROSANITARIAS DE EDIFICACIONES

10.14.2.2.1. Normatividad aplicable

Respecto al diseño de redes Hidrosanitarias, el producto de factibilidad de la L2MB tendrá en consideración las normas relacionadas en la Tabla 9.

Tabla 9. Listado de normas para el diseño de redes hidrosanitarias

| CÓDIGO | TÍTULO |
|----------|--|
| NS-068 | Conexiones domiciliarias de alcantarillado |
| NS-057 | Cunetas y canaletas de drenaje superficial |
| NS-085 | Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado |
| NS-030 | Lineamientos para trabajos topográficos |
| NS-054 | Presentación de diseños de sistemas de alcantarillado |
| NS-028 | Presentación de diseños de acueducto |
| NS-033 | Criterios para diseño de Red Matriz |
| NS-036 | Criterios para diseño de red de acueducto secundaria y menor distribución |
| NS-060 | Criterios de diseño de anclajes en redes de acueducto y alcantarillado |
| NS-077 | Cajas para accesorios de acueducto |
| NP-011 | Accesorios para acueducto. |
| NS-128 | Lineamientos generales para diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias internas y sistema contra incendio. |
| NTC-1500 | Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias |
| | National Plumbing Code-2021 |

10.14.2.2.2. Criterios de diseño

10.14.2.2.2.1. Conducción de agua potable

El suministro de agua potable para las edificaciones del Patio Taller se hará a partir de las redes secundarias de agua potable aledañas a cada edificaciones del Patio Talle, la red se alimentará por medio de llaves para hacer el lavado de las los coches, el caudal se estimó de acuerdo con los parámetros de la norma ICONTEC NTC 1500 – Cuarta actualización (2020), para una llave de poceta de servicio público y el caudal de la red por el método de Hunter, asumiendo 2,25 unidades por llave. Así mismo se contempla la Ley 142 de 1994 Servicios públicos domiciliarios, donde se establecen las condiciones mínimas de prestación del servicio de acueducto y alcantarillado por parte de la EAAB-ESP, la disponibilidad de servicios públicos para las edificaciones del Patio Talle deberá ser tramitada por el la Empresa Metro o quien se delegue como parte de la licencia de construcción para estas edificaciones.

La normatividad que se aplicará en el diseño corresponde al Código Colombiano de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias NTC 1500, Cuarta actualización y a las normas de la EAAB-ESP que se listan a continuación.

- Cajillas de piso para medidores de ¾" y ½". NP-021.
- Instalación de acometidas domiciliarias de acueducto diámetros 1/2". NS-024.
- Excavaciones. Bogotá. NS-019.
- Rellenos. Bogotá. NP-040.
- Medidores de agua potable. Definiciones y clasificación. NT-001
- Terminología de Acueducto. NT-002
- Lineamientos generales para diseño y construcción de instalaciones hidrosanitarias internas y sistema contra incendio. NS-128

2.2.2.1.1. Pérdidas por fricción

Para las presiones de servicio y las pérdidas hidráulicas en la red de suministro de agua potable, se consideró que la tubería es en PVC-P, accesorios en el mismo material.

Las pérdidas por fricción se calcularon mediante la ecuación de Darcy Weisbach para la red de suministro, la cual se presenta a continuación:

$$hf = \frac{L \times V^2}{D \times 2 \times g}$$

Donde:

f es el factor de fricción adimensional, depende del número de Reynolds y de la rugosidad de la tubería

L es la longitud de la tubería, (m)

D es el diámetro interno, (m)

V es la velocidad media, (m/s)

hf es la pérdida por fricción, (m)

g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

El factor de fricción se calcula con la ecuación de Colebrook, White (Rodríguez, 2009, pág. 56)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{ks}{3,7 \times D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right]$$

Donde:

Re es el número de Reynolds (adimensional).

Ks es la rugosidad absoluta (m)

Se reemplaza el valor de f obtenido en la ecuación de pérdidas por fricción para obtener este valor para la tubería.

10.14.2.2.2.1.1. Pérdidas menores

Para el cálculo de pérdidas menores para la red de acometidas del patio se tomará como referencia lo descrito en la norma técnica NS-128 de la EAAB-ESP; los valores empleados se indican en la Tabla 10 y Tabla 11.

Ks: Valor de los coeficientes de pérdidas menores de todos los accesorios empleados en la acometida domiciliaria desde la derivación de la red.

Tabla 10. Coeficientes de pérdida (Ks) para materiales de tuberías

| Material | Descripción | Valor coeficiente de fricción C | Valor coeficiente de rugosidad Ks (mm) |
|----------|---|---------------------------------|--|
| HF | Hierro fundido | 120 | 0,150 |
| ACE | Acero | 140 | 0,046 |
| AC | Asbesto cemento | 140 | 0,030 |
| HG | Hierro Galvanizado | 120 | 0,150 |
| CR | Concreto reforzado | 120 | 0,1200 |
| CCP | Tubería reforzada con cilindro de acero y varilla | 120 | 0,1200 |

| Material | Descripción | Valor coeficiente de fricción C | Valor coeficiente de rugosidad Ks (mm) |
|----------|---|---------------------------------|--|
| PCCP | Tubería de hormigón pretensada cilíndrica | 110 | 0,1200 |
| PVC | Policloruro de vinilo | 130 | 0,0015 |
| PE | Polietileno | 150 | 0,0070 |
| HD | Hierro dúctil | 120 | 0,2500 |

Fuente: Saldarriaga J. 2007. Hidráulica de tuberías – Abastecimiento de Aguas, redes y Riegos. Ed. Alfaomega. Fichas Técnicas PE, PVC Fabricantes nacionales

Tabla 11. Coeficientes de pérdida (km) para accesorios

| Accesorios | (km) |
|--|------|
| Válvula de control tipo globo, completamente abierta | 5,5 |
| Válvula de control tipo Y, completamente abierta | 5,5 |
| Válvula en ángulo, completamente abierta | 5,0 |
| Válvula de cheque, completamente abierta | 2,5 |
| Válvula de compuerta, completamente abierta | 0,2 |
| Válvula de mariposa, completamente abierta | 1,0 |
| Válvula de bola, completamente abierta | 0,1 |
| Codo de radio corto 90° | 0,9 |
| Codo de radio mediano 90° | 0,8 |

| Accesorios | (km) |
|--------------------------------------|------|
| Codo de gran radio 90° | 0,6 |
| Codo de 45° | 0,4 |
| Retorno (curva en U) | 2,2 |
| TEE en sentido recto | 0,3 |
| TEE salida lateral | 1,8 |
| Unión | 0,3 |
| Yee 45°, sentido recto | 0,3 |
| Yee 45°, salida lateral | 0,8 |
| Filtro de cilindro o malla perforada | 5,0 |
| Medidor de consumo de agua potable | 5,0 |
| Entrada recta a tope | 0,5 |
| Entrada con boca acampanada | 0,1 |
| Entrada con tubo reentrante | 0,9 |
| Entrada a tanque | 1,0 |
| Contracción | 0,1 |
| Expansión | 0,1 |

Fuente: Saldarriaga J. 2007. Hidráulica de tuberías – Abastecimiento de Aguas, redes y Riegos. Ed. Alfaomega. Alba V. Díaz Corrales. 2008. Mecánica de Energía – Pérdidas de Energía total. Presentación <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/presentacion1.pdf>

10.14.2.2.2.1.2. Caudal de Diseño

Las instalaciones hidráulicas domiciliarias corresponden a las redes internas de suministro hasta los puntos de consumo.

Para el cálculo de los caudales de diseño de las redes internas de suministro de patio, se utilizará el método modificado de Hunter. Este método considera la probabilidad de uso simultáneo de los aparatos sanitarios alimentados por un ramal dado. El método se basa en asignar a cada aparato sanitario un número denominado unidad de consumo de acuerdo con la Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12. Unidades de consumo y presiones requeridas

| Aparato | Unidades de Consumo | | Presión Requerida | |
|------------------|---------------------|---------|-------------------|------|
| | Privado | Público | m.c.a | psi |
| Sanitario Tanque | 2 | 2 | 7* | 9,95 |
| Lavamanos | 0,5 | 1,5 | 5,63 | 8 |
| Poceta | 2,25 | 2,25 | 5,63 | 8 |

*Se toma para el sanitario de tanque una presión requerida 7 m.c.a., tomando como base las tablas de presiones recomendadas de la literatura recomendada; 1) Diseño de redes hidráulicos y desagües –Rafael Pérez Carmona, 2) Diseño hidráulicos sanitarios y de gas en edificaciones – Héctor Rodríguez, 3) Redes hidráulicas y sanitarias en edificios – Jorge Granados.

Una vez se determine el número de unidades abastecidas por cada ramal, se establecerá el caudal correspondiente de acuerdo con la Tabla 13, la cual se obtiene utilizando la metodología Roy Hunter Modificado (ICONTEC, 2020, pág. 216).

Tabla 13. Equivalencia de las unidades de consumo en caudal (l/s)

| Sistema de suministro principalmente para sanitarios de Tanque | | | | | | Sistemas de suministro principalmente para fluxómetro | | | | | |
|--|---------|------|---------------------|---------|------|---|---------|-----|---------------------|---------|------|
| Carga | Demanda | | Carga | Demanda | | Carga | Demanda | | Carga | Demanda | |
| Unidades de Aparato | Caudal | | Unidades de Aparato | Caudal | | Unidades de Aparato | Caudal | | Unidades de Aparato | Caudal | |
| | gal/min | l/s | | gal/min | l/s | | gal/min | l/s | | gal/min | l/s |
| 1 | 3,0 | 0,19 | 50 | 29,1 | 1,83 | - | - | - | 50 | 50,0 | 3,15 |
| 2 | 5,0 | 0,32 | 60 | 32,0 | 2,02 | - | - | - | 60 | 54,0 | 3,40 |
| 3 | 6,5 | 0,41 | 70 | 35,0 | 2,21 | - | - | - | 70 | 58,0 | 3,65 |
| 4 | 8,0 | 0,50 | 80 | 38,0 | 2,40 | - | - | - | 80 | 61,2 | 3,85 |

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

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

| Sistema de suministro principalmente para sanitarios de Tanque | | | | | | Sistemas de suministro principalmente para fluxómetro | | | | | |
|--|------|------|------|------|-------|---|------|------|------|-------|-------|
| 5 | 9,4 | 0,60 | 90 | 41,0 | 2,58 | 5 | 15 | 0,95 | 90 | 64,3 | 4,05 |
| 6 | 10,7 | 0,67 | 100 | 43,5 | 2,74 | 6 | 17,4 | 1,10 | 100 | 67,5 | 4,25 |
| 7 | 11,8 | 0,74 | 120 | 48,0 | 3,02 | 7 | 19,8 | 1,25 | 120 | 73,0 | 4,60 |
| 8 | 12,8 | 0,81 | 140 | 52,5 | 3,31 | 8 | 22,2 | 1,40 | 140 | 77,0 | 4,85 |
| 9 | 13,7 | 0,86 | 160 | 57,0 | 3,60 | 9 | 24,6 | 1,55 | 160 | 81,0 | 5,10 |
| 10 | 14,6 | 0,92 | 180 | 61,0 | 3,84 | 10 | 27 | 1,70 | 180 | 85,5 | 5,39 |
| 11 | 15,4 | 0,97 | 200 | 65,0 | 4,09 | 11 | 27,8 | 1,75 | 200 | 90,0 | 5,67 |
| 12 | 16,0 | 1,00 | 225 | 70,0 | 4,41 | 12 | 28,6 | 1,80 | 225 | 95,5 | 6,02 |
| 13 | 16,5 | 1,04 | 250 | 75,0 | 4,73 | 13 | 29,4 | 1,85 | 250 | 101,5 | 6,39 |
| 14 | 17,0 | 1,07 | 275 | 80 | 5,04 | 14 | 30,2 | 1,92 | 275 | 104,5 | 6,58 |
| 15 | 17,5 | 1,10 | 300 | 85 | 5,36 | 15 | 31 | 1,95 | 300 | 108 | 6,80 |
| 16 | 18,0 | 1,13 | 400 | 105 | 6,62 | 16 | 31,8 | 2,00 | 400 | 127 | 8,00 |
| 17 | 18,4 | 1,16 | 500 | 124 | 7,81 | 17 | 32,6 | 2,05 | 500 | 143 | 9,01 |
| 18 | 18,8 | 1,18 | 750 | 170 | 10,71 | 18 | 33,4 | 2,10 | 750 | 177 | 11,15 |
| 19 | 19,2 | 1,21 | 1000 | 208 | 13,10 | 19 | 34,2 | 2,15 | 1000 | 208 | 13,10 |
| 20 | 19,6 | 1,23 | 1250 | 239 | 15,07 | 20 | 35 | 2,21 | 1250 | 239 | 15,06 |
| 25 | 21,5 | 1,35 | 1500 | 269 | 16,95 | 25 | 38 | 2,39 | 1500 | 269 | 16,95 |
| 30 | 23,3 | 1,47 | 1750 | 297 | 18,71 | 30 | 42 | 2,65 | 1750 | 297 | 18,71 |
| 35 | 24,9 | 1,57 | 2000 | 325 | 20,48 | 35 | 44 | 2,77 | 2000 | 325 | 20,48 |
| 40 | 26,3 | 1,66 | 2500 | 380 | 23,94 | 40 | 46 | 2,90 | 2500 | 380 | 23,94 |
| 45 | 27,7 | 1,74 | 3000 | 433 | 27,28 | 45 | 48 | 3,02 | 3000 | 433 | 27,28 |

Así mismo, el sistema de suministro interno se ajustará a los parámetros de diseño hidráulico propios de su funcionamiento, estos parámetros se describen a continuación:

1. Las tuberías de ½" de diámetro deberán ser de PVC RDE 9 (RDE: relación diámetro - espesor), las cuales admiten una presión de trabajo a 23 °C de 500 psi (352 m.c.a.).
2. Para tuberías de ¾" de diámetro deberán ser de PVC RDE 11 (RDE: relación diámetro – espesor), las cuales admiten una presión de trabajo a 23 °C de 400 psi (281,6 m.c.a.).
3. Para tuberías con diámetros superiores o iguales a 1", las tuberías deberán ser de PVC RDE 21 (RDE: relación diámetro – espesor), las cuales admiten una presión de trabajo a 23 °C de 200 psi (140,8 m.c.a.).

4. Las tuberías que quedan expuestas al público se instalarán en hierro galvanizado de ½”.

10.14.2.2.2.1.3. Pérdidas por accesorios

Los accesorios en una red producen una pérdida por fricción adicional a la de los tramos de tubería. Para tener en cuenta esta pérdida, se convierte en una longitud equivalente de tubería del mismo diámetro y calidad que produce el mismo efecto. Esta longitud se suma a los tramos rectos y luego se calcula la pérdida total.

Tabla 14. Longitudes equivalentes en metros de tubería rectilínea para el cálculo de las pérdidas por accesorios

| Accesorio o válvula | Dimensión de tubería (Pulgadas) | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1/2 | 3/4 | 1 | 1 1/4 | 1 1/2 | 2 | 2 1/2 | 3 |
| Codo de 45 grados | 0,4(1,2) | 0,5(1,5) | 0,5(1,8) | 0,7(2,4) | 0,9(3,0) | 1,2(4,0) | 1,5(5,0) | 1,8(6,0) |
| Codo de 90 grados | 0,6(2,0) | 0,8(2,5) | 0,9(3,0) | 1,2(4,0) | 1,5(5,0) | 2,1(7,0) | 2,4(8,0) | 3,1(10,0) |
| “T” de paso | 0,2(0,6) | 0,2(0,8) | 0,3(0,9) | 0,4(1,2) | 0,5(1,5) | 0,6(2,0) | 0,8(2,5) | 0,9(3,0) |
| “T” de ramificación | 0,9(3,0) | 1,2(4,0) | 1,5(5,0) | 1,8(6,0) | 2,1(7,0) | 3,1(10,0) | 3,7(12,0) | 4,6(15,0) |
| Válvula de compuerta | 0,1(0,4) | 0,1(0,5) | 0,2(0,8) | 0,2(0,8) | 0,3(1,0) | 0,4(1,3) | 0,5(1,6) | 0,6(2,0) |
| Válvula de balanceo | 0,2(0,8) | 0,3(1,1) | 0,5(1,5) | 0,6(1,9) | 0,7(2,2) | 0,9(3,0) | 1,1(3,7) | 1,4(4,5) |
| Llave tipo obturador | 0,2(0,8) | 0,3(1,1) | 0,5(1,5) | 0,6(1,9) | 0,7(2,2) | 0,9(3,0) | 1,1(3,7) | 1,4(4,5) |
| Válvula de retención | 1,7(5,6) | 2,6(8,4) | 3,4(11,2) | 4,3(14,0) | 5,1(16,8) | 6,8(22,4) | 8,5(28,0) | 10,2(33,6) |
| Válvula globo | 4,6(15,0) | 6,1(20,0) | 7,6(25,0) | 10,7(35,0) | 13,7(45,0) | 16,8(55,0) | 19,8(65,0) | 24,4(80,0) |
| Válvula de Ángulo | 2,4(8,0) | 3,7(12,0) | 4,6(15,0) | 5,5(18,0) | 6,7(22,0) | 8,5(28,0) | 10,4(34,0) | 12,2(40,0) |

10.14.2.2.2.1.4. *Velocidad de diseño*

De acuerdo con el Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias (Norma ICONTEC NTC 1500, Cuarta actualización), el dimensionamiento de las redes de agua potable estará acorde a lo estipulado en la Tabla 15, teniendo en cuenta la demanda.

Tabla 15. Dimensionamiento del múltiple (Manifold)

| Dimensión nominal diámetro interno (pulgadas) | Máxima demanda L/min (g/min) | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| | Velocidad a 1,22 m/s (4 pies/s) | Velocidad a 2,44 m/s (8 pies/s) |
| (½) | 7,6 (2) | 19 (5) |
| (¾) | 23 (6) | 42 (11) |
| (1) | 38 (10) | 76 (20) |
| (1 ¼) | 57 (15) | 117 (31) |
| (1 ½) | 83 (22) | 166 (44) |

Fuente: ICONTEC. NTC 1500 Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias (2020).

- Disminuyen las pérdidas hidráulicas
- Atenúan los efectos del golpe de ariete
- Reducen el desgaste interior de las tuberías por erosión
- Evitan la cavitación en tuberías, especialmente en maquinaria hidráulica

La velocidad máxima de diseño debe ser de 2 m/s para tubería de diámetro inferior a 76,2 mm, para diámetros de 76,2 mm o mayores la velocidad máxima debe ser 2,50 m/s, o aquella recomendada por el fabricante.

10.14.2.2.2.1.5. *Tipo de tuberías y presiones de trabajo*

La tubería proyectada será de PVC que tiene un coeficiente de Hazen – Williams C de 150 y una rugosidad absoluta Ks de 0,0015 mm, la unión deberá hacerse mediante pegado con sistema de soldadura PVC, con las cuales se obtiene:

- Facilidad de instalación.
- Deflexión normal para ajustarse al terreno (máx. 3°)
- Garantiza hermeticidad en las uniones.

- Mayor rapidez en su instalación.
- Resistente a la agresividad del suelo.

Las tuberías seleccionadas serán de PVC 9, 11, 13,5 y 21 (RDE: relación diámetro – espesor), las cuales admiten una presión de trabajo a 23°C entre 500 psi y 200 psi respectivamente.

Se obtendrá el factor de fricción según el material de la tubería, con el valor f obtenido y aplicado en la ecuación de Darcy – Weissbach, asumiendo la velocidad como la relación entre el caudal y el área transversal del tubo se obtendrán las pérdidas por fricción, luego iterando se regresará a la ecuación de Darcy – Weissbach en donde se despejará la velocidad real del flujo:

$$V^2 = \frac{2 \times g \times h_f}{f \times \frac{L}{D}}$$

Donde:

V es la velocidad (m/s)

g es la aceleración de la gravedad (m/s²)

h_f es la pérdida por fricción (adimensional)

f es el factor de fricción de Darcy

L es la longitud de la tubería (m)

D es el diámetro de la tubería (m)

10.14.2.2.2.1.6. Accesorios para el control hidráulico en la conducción

Se deberá prever de acuerdo con la norma NS 024 de la Empresa de Acueducto de Bogotá, EAAB-ESP, Acometida domiciliar de acuerdo con la distribución y conexiones que tenga cada edificación, las válvulas de control y medición localizadas en la cajilla de registro, registros de corte en las llaves que quedan expuestas.

10.14.2.2.2.1.7. Descripción general del sistema hidráulico de agua potable

El sistema de suministro de agua potable será abastecido por la red secundaria adyacente a la edificación operada por la EAAB-ESP, la cual proporciona la presión y caudal necesario para los requerimientos del total de unidades de servicio. El cálculo del caudal se realizará con la metodología de Hunter, que permite establecer un caudal para cada unidad instalada. Se diseñarán las redes de agua potable y agua lluvia. El cálculo de caudales se llevará a cabo con la metodología de Hunter, que permite establecer un caudal para cada unidad instalada, la red de acometida se conectará desde la red menor proyectada, pasando por un medidor hasta los puntos de servicio directamente.

10.14.2.2.2.2. Red de drenaje sanitario

La red de drenaje de aguas residuales corresponderá al sistema de evacuación de las aguas residuales domésticas de las edificaciones del Patio Taller. Las descargas se realizarán a los pozos existentes y proyectados.

Es importante tener en cuenta que las aguas negras serán las provenientes de los sanitarios, sifones de piso, lavamanos y pocetas de aseo de las edificaciones anteriormente mencionadas.

10.14.2.2.2.2.1. Caudal de diseño de la red de drenaje sanitario

Para el dimensionamiento de las instalaciones sanitarias se utilizará el método de unidades sanitarias modificado de Hunter (ICONTEC, 20) descrito en la Tabla 16 , teniendo en cuenta el número de aparatos sanitarios proyectados para cada edificio, el número de unidades aplicado a los diferentes aparatos sanitarios.

La estimación del caudal de diseño se determinará a partir del caudal máximo probable obtenido mediante los caudales correspondientes a las unidades de fluxómetros en la Tabla 16.

Tabla 16. Unidades de los aparatos según el método de Hunter

| Aparato | Unidades Sanitarias |
|---------------------|---------------------|
| Sanitario de Tanque | 4 |
| Lavamanos | 1 |
| Desagüe de piso | 2 |

Fuente: ICONTEC. NTC 1500 Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias. (2020). Tabla 8.9.1, pág. 140.

10.14.2.2.2.2.2. Cálculo de caudales

Una vez se determina el número de unidades abastecidas para las edificaciones del Patio Taller, se establecerá el caudal correspondiente que se obtiene utilizando la metodología Roy Hunter Modificado (ICONTEC, 2020, pág. 140).

10.14.2.2.2.2.3. Velocidad de diseño y fuerza tractiva

El procedimiento de cálculo se basa en suponer que el flujo es uniforme en el conducto y como tal; el análisis se ha efectuado empleando la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

V es la velocidad media, (m/s)

n es el coeficiente de rugosidad de Manning (m^{1/3}/s)

R es el radio hidráulico, (m)

S es la pendiente de la línea de energía, (m/m)

10.14.2.2.2.4. Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning dependerá de las características de la tubería y de los materiales de construcción de esta, los cuales serán establecidos según las normas indicadas en el [numeral 2.3.1](#) de este documento.

10.14.2.2.2.5. Velocidad mínima

La norma NTC 1500 establece que “la pendiente de la tubería sanitaria debe ser tal que garantice su capacidad para evacuar el caudal de diseño, con una velocidad comprendida entre 0,60 m/s y 5,0 m/s (condiciones a tubos llenos) o mínimo 0,15 kg/m² de fuerza tractiva” para las redes internas” (ICONTEC, NTC 1500, cap. 8.4.1 - 2020).

10.14.2.2.2.6. Diámetro mínimo

El máximo número de unidades de desagüe de aparatos conectados a un alcantarillado de la edificación, desagüe de la edificación o ramal horizontal del desagüe de la edificación de un determinado tamaño, deberá determinarse usando la Tabla 17 (tabla 8.10.1 (1) de la NTC 1500, pág. 142).

Tabla 17. Máximo número de unidades de desagüe

| Diámetro de la tubería (pulgadas) | Máximo número de unidades de desagüe de aparatos conectados a cualquier porción del desagüe o alcantarillado de la edificación, incluyendo los ramales del desagüe de la edificación | | | |
|-----------------------------------|--|------------|------------|------------|
| | Pendiente en % (pendiente pulgada por pie) | | | |
| | 0,5% (1/16) | 1,0% (1/8) | 2,0% (1/8) | 4,0% (1/8) |
| 1 1/4 | - | - | 1 | 1 |
| 1 1/2 | - | - | 3 | 3 |
| 2 | - | - | 21 | 26 |
| 2 1/2 | - | - | 24 | 31 |
| 3 | - | - | 42 | 50 |
| 4 | - | - | 216 | 250 |
| 6 | - | 36 | 480 | 575 |

10.14.2.2.2.7. Tipo de tubería de la red de drenaje sanitario

La red externa de drenaje sanitario se diseñará con tuberías en PVC para alcantarillado fabricadas bajo la Norma Técnica Colombiana NTC 3722,3 (ICONTEC, 2012), los diámetros de la tubería serán definidos de acuerdo con los cálculos realizados. Las tuberías se conectarán mediante pozos de inspección de 1,20 m de diámetro, que descargarán a un pozo de inspección perteneciente a la red de drenaje sanitario proyectado y existente.

10.14.2.2.2.3. Red de drenaje pluvial

El diseño del drenaje pluvial de las cubiertas se realizará siguiendo los lineamientos establecidos por la empresa de servicios públicos EAAB-ESP, así mismo, se tienen en cuenta los criterios establecidos en la norma NTC 1500 (ICONTEC, 2020) cuarta actualización.

10.14.2.2.2.3.1. Caudal de diseño

La determinación de los caudales de diseño de la red de drenaje se llevará a cabo con el Método Racional (RAS- Resolución 0330- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio y la NS-085), el cual estima el caudal suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación durante el tiempo de concentración en el área de acción. Este método es aplicable a cuencas donde el área de drenaje es inferior a 0,8 km² y se define mediante la siguiente ecuación.

$$Q = 2,78 * C * I * A$$

Donde:

Q es el caudal máximo (m³/s)

C es el coeficiente de escorrentía (adimensional)

I es la intensidad máxima del aguacero de diseño (mm/hr)

A es el área de drenaje (km²)

10.14.2.2.2.3.2. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es la relación entre el pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. Este parámetro es función del tipo del suelo del área tributaria, del grado de permeabilidad de la zona, de la pendiente del terreno y de todos aquellos factores que determinan qué parte de la precipitación se convierte en escorrentía.

Se determinará el valor del coeficiente de escorrentía “C” siguiendo las recomendaciones de la norma técnica de la EAAB ESP, (Véase Tabla 18).

Tabla 18. Coeficientes de escorrentía

| Características de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Áreas desarrolladas | | | | | |
| Asfáltico | 0,77 | 0,81 | 0,86 | 0,9 | 0,95 |
| Concreto/techo | 0,8 | 0,83 | 0,88 | 0,92 | 0,97 |
| Zonas verdes (jardines, parques, etc) | | | | | |
| Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,34 | 0,37 | 0,4 | 0,44 | 0,47 |
| Promedio 2-7% | 0,4 | 0,43 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |

| Características de la superficie | Periodo de retorno (años) | | | | |
|--|---------------------------|------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Pendiente superior a 7% | 0,43 | 0,45 | 0,49 | 0,52 | 0,55 |
| Condición promedio (cubierta de pasto del 50% al 75% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,28 | 0,3 | 0,34 | 0,37 | 0,41 |
| Promedio 2-7% | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 |
| Pendiente superior a 7% | 0,4 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área) | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,23 | 0,25 | 0,29 | 0,32 | 0,36 |
| Promedio 2-7% | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,42 | 0,46 |
| Pendiente superior a 7% | 0,37 | 0,4 | 0,44 | 0,47 | 0,51 |
| Áreas no desarrolladas | | | | | |
| Área de cultivos | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 |
| Promedio 2-7% | 0,38 | 0,41 | 0,44 | 0,48 | 0,51 |
| Pendiente superior a 7% | 0,42 | 0,44 | 0,48 | 0,51 | 0,54 |
| Pastizales | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,28 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,41 |
| Promedio 2-7% | 0,36 | 0,38 | 0,42 | 0,45 | 0,49 |
| Pendiente superior a 7% | 0,40 | 0,42 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| Bosques | | | | | |
| Plano, 0-2% | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,35 | 0,39 |
| Promedio 2-7% | 0,34 | 0,36 | 0,40 | 0,43 | 0,47 |
| Pendiente superior a 7% | 0,39 | 0,41 | 0,45 | 0,48 | 0,52 |

Fuente: Tomado de EAAB-ESP. Norma Técnica. NS-085, V. 4.1.

10.14.2.2.2.3.3. Intensidad de la precipitación

De acuerdo con lo establecido en la norma NS-085 de la EAAB, la intensidad de precipitación se determinará a partir del periodo de retorno, frecuencia y duración de la tormenta de diseño. Los datos para diferentes periodos de retorno serán empleados una vez se reciba la información por parte de la EAAB ESP.

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = C_1 \cdot (Duración(minutos) + X_0)^{C_2}$$

Donde los valores de los coeficientes C_1 , X_0 y C_2 serán suministrados por la EAAB ESP.

10.14.2.2.2.3.4. Periodo de retorno y tiempo de concentración

El dimensionamiento de los colectores verticales y horizontales para los desagües de las edificaciones de agua pluvial será basado en el caudal de precipitación para una hora en un intervalo de 100 años de acuerdo con el capítulo 12.6.1 de la NTC 1500 Tercera actualización.

10.14.2.2.2.3.5. Velocidad de diseño y fuerza tractiva

Para el cálculo de estos parámetros se supone flujo uniforme con lo cual el análisis se efectúa empleando la fórmula de Manning.

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Donde:

V es la velocidad media (m/s)

n es el coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

R es el radio hidráulico (m)

S es la pendiente de la línea de energía (m/m)

10.14.2.2.2.3.6. Coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning dependerá de las características de la tubería y de los materiales de construcción de esta, los cuales serán establecidos según las normas indicadas en el numeral 2.3.1 de este documento.

10.14.2.2.2.3.7. *Velocidad mínima*

La velocidad mínima será aquella que permita que las condiciones del sistema de autolimpieza cumplan con el criterio de fuerza atractiva, como lo indica el capítulo 4.4.4 de la norma NS-085 de la EAAB-ESP.

10.14.2.2.2.3.8. *Diámetro interno mínimo*

El diámetro mínimo de las redes pluviales se estipulará con base en la norma Icontec NTC 1500, de acuerdo con la relación que se indica en la tabla 12.6.3 (Dimensionamiento de la tubería horizontal de desagües de aguas lluvias), de dicho documento.

10.14.2.2.2.3.9. *Dimensionamiento de las bajantes para las cubiertas*

El caudal que puede transportar una bajante está en función de la relación del área del anillo de agua pegado a las paredes con el área total de la sección, (Granados, 2002) El caudal que puede transportar una bajante está expresado por la siguiente ecuación.

$$q = 1,754 * r^{5/3} * d^{8/3}$$

Donde:

q es el caudal puede transportar la bajante (l/s)

r es la relación del área del anillo de agua de la sección de la tubería (r=7/24)

d es el diámetro de la bajante (pulgadas)

En la Tabla 19 se indican los valores de caudal para diferentes diámetros y diferentes relaciones de r.

Tabla 19. Valores de caudal

| Diámetro pulgadas | Caudal (l/s) | | |
|----------------------|--------------|--------|-------|
| | r=1/4 | r=7/24 | r=1/3 |
| 2 | 1,10 | 1,43 | 1,78 |
| 3 | 3,26 | 4,21 | 5,26 |
| 4 | 7,02 | 9,07 | 11,36 |

| Diámetro pulgadas | Caudal (l/s) | | |
|----------------------|--------------|--------|--------|
| | r=1/4 | r=7/24 | r=1/3 |
| 6 | 20,09 | 26,75 | 33,41 |
| 8 | 44,55 | 57,60 | 71,96 |
| 10 | 80,77 | 104,43 | 130,47 |
| 12 | 131,34 | 169,82 | 212,15 |

Fuente: (Granados, 2002)

El área que puede drenar una bajante de diferentes diámetros para diferentes intensidades de lluvia está dada en la Tabla 20. Donde se asumirá que el agua está ocupando 7/24 del área total, dejando el resto para el cilindro de aire que se forma en el centro.

Tabla 20. Áreas máximas para bajantes de aguas lluvias (m²)

| Intensidad (mm/h) | Diámetro de las bajantes (pulgadas) | | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|-------|-----|-----|------|------|
| | 2 | 2 1/2 | 3 | 4 | 6 | 8 |
| 50 | 132 | 240 | 402 | 841 | 2469 | 5303 |
| 75 | 88 | 160 | 268 | 560 | 1645 | 3535 |
| 100 | 66 | 120 | 201 | 420 | 1234 | 2652 |
| 125 | 53 | 95 | 161 | 336 | 987 | 2121 |
| 150 | 44 | 80 | 134 | 281 | 823 | 1766 |
| 200 | 33 | 60 | 101 | 210 | 617 | 1326 |

Fuente: Robayo (2002)



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|--------------------|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Indicadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |
| D | 22-06-2022 | - | Se hace referencia general al Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá y a los instrumentos de planificación que lo desarrollan |

REVISIÓN Y APROBACIÓN

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Revisó: O. Véliz 22-06-2022 | Revisó: F. Faria 22-06-2022 | Revisó: C.L. Umaña 22-06-2022 | Aprobó: J.M. Martínez 2206-2022 |
| VoBo. Director Técnico | VoBo. Director Financiero | VoBo. Director Legal | VoBo. Director General de Estructuración |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ... | 5 |
| 2. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ... | 5 |
| 2.1 DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL EN PATIO TALLER | 5 |
| 2.2 OBJETIVO | 5 |
| 2.3 ALCANCE | 5 |
| 2.4 PATIO TALLER | 5 |
| 2.4.1 Vía perimetral | 5 |
| 2.4.2 Normatividad | 6 |
| 2.4.3 Criterios de diseño | 7 |
| 2.4.4 Descripción del trazado | 8 |
| 2.5 CONCLUSIONES | 10 |
| 2.6 ANEXOS | 11 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen parámetros de diseño

Tabla 2. Rangos de referencia por tipos de calle

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema vía perimetral Patio Taller

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...

2. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...

2.1 DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL EN PATIO TALLER¹

El presente informe tiene como propósito la presentación de la solución técnica definida para el proyecto de L2MB a nivel del componente de Diseño Geométrico Vial en la zona del Patio Taller. Se presenta la descripción de la solución técnica planteada para el diseño de la vía perimetral que permitirá el acceso a las diferentes zonas que conforman el Patio Taller.

Se expone a continuación el objetivo del documento, la normatividad aplicable, el resumen de criterios de diseño vial a implementar en el proyecto, la descripción de los trazados, conclusiones y anexos.

2.2 OBJETIVO

Presentar y describir los trazados viales que se desarrollarán dentro del alcance de la especialidad de diseño geométrico en el proyecto L2MB en la zona del Patio Taller.

2.3 ALCANCE

El alcance del proyecto Estructuración Integral del Proyecto Línea 2 del Metro de Bogotá a nivel de diseño geométrico se centra en la definición del trazado de factibilidad de la infraestructura vial que se vea afectada por la implantación del proyecto. En el caso del Patio Taller, el alcance comprende el diseño de la vía perimetral que se desarrollará al interior del patio.

2.4 PATIO TALLER

2.4.1 Vía perimetral

En relación al diseño geométrico vial, dentro de la infraestructura interna del Patio Taller, se proyecta el diseño a nivel de factibilidad una vía perimetral de aproximadamente 2,8 km de longitud t 6,0 m de ancho de calzada, a través de la cual se podrá acceder a las diferentes áreas del patio.

¹ Los estudios de factibilidad del proyecto fueron elaborados en vigencia del Plan de Ordenamiento Territorial contenido en el Decreto 555 de 2021, el cual fue suspendido temporalmente por el Juzgado Quinto Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá el catorce (14) de junio de 2022, es decir, con posterioridad a la elaboración de estos documentos. Sin embargo, una vez analizado el Plan de Ordenamiento Territorial en vigencia que corresponde al contenido en el Decreto 190 de 2004, se corroboró que los estudios de factibilidad realizados no contravienen lo establecido en dicho Decreto ni los instrumentos de Planeación Urbana que puedan derivarse del mismo. Un análisis sobre este aspecto se presenta en el documento denominado Resumen del Proyecto

2.4.2 Normatividad

A continuación se presenta la normatividad aplicable a tener en cuenta para el desarrollo de los trabajos de diseño vial.

- Manual de Diseño Geométrico para Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS 2008, adoptado mediante Resolución No. 000744 del 4 de marzo de 2009 del Ministerio de Transporte.
- Guía para el Diseño de Vías Urbanas para Bogotá D.C. – CAF, IDU, Universidad Nacional de Colombia 2015.
- A policy on Geometric Design of Highways and Streets – AASHTO 2011.
- Plan de Ordenamiento Territorial aprobado mediante decreto 190 de 2004.
- Ley 146 de 1963 (31 de diciembre de 1963) - Precisó los criterios para la construcción de vías con el fin de evitar la existencia de pasos a nivel sobre vías férreas
- Decreto 323 de mayo 29 de 1992 (o la norma que lo sustituya), por el cual se reglamentan las zonas viales de uso público y en lo referente a las áreas para el sistema vial general y para el transporte masivo, la red vial local de las urbanizaciones y el equipamiento vial.
- Decreto 327 de octubre 11 de 2004 (o la norma que lo sustituya), por el cual se reglamenta el Tratamiento de Desarrollo Urbanístico en el Distrito Capital.
- Norma NTC 4901-1,2007 - NTC 4901-1, Vehículos para el transporte Urbano Masivo de pasajeros.
- Resolución 303 del 2016 (Secretaría Distrital de Movilidad) "Por medio de la cual se modifica parcialmente la Resolución 264 de 2015 y se dictan otras disposiciones."
- Manual de Drenaje para Carreteras del Instituto Nacional de Vías INVIAS 2009.
- Decreto No. 798 (11 marzo de 2010) – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Estándares para Carril para zonas y predios urbanizables no urbanizados.
- Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura – Subsector Vial del Instituto Nacional de Vías INVIAS 2011.
- Manual de Normatividad Férrea – Ministerio de Transporte 2013
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes del Instituto Nacional de Vías INVIAS – CCP – 2014.
- Manual de Señalización Vial – Dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia. Resolución 1885 de 2015. Ministerio de Transporte.
- Decreto 787 del 28 de diciembre del 2017, por medio del cual se modifica el Decreto Distrital 327 de 2004 y su Anexo N° 1, en lo que respecta a los radios de giro y se dictan otras disposiciones.
- Resolución No.3258 del 2018 Ministerio de Transporte - Por la cual se adopta la Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas.

2.4.3 Criterios de diseño

De acuerdo con la jerarquización vial, los rangos de referencia por tipo de calle según el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá y los instrumentos de planificación que lo desarrollan, y la normatividad vigente, la vía perimetral del patio taller corresponde a una vía local, a continuación en la Tabla 2 se presenta el resumen de parámetros de diseño a implementar en el diseño de la vía perimetral del Patio Taller.

Tabla 1. Resumen parámetros de diseño

| Criterio de diseño | Vías Locales |
|---|--|
| | Parámetro |
| Vehículo de diseño | Camión C2-G (SUM-9) |
| Velocidad de diseño | 10 - 30 km/h |
| Radio mínimo de giro | 22 m |
| Peralte máximo | 4% |
| Pendiente longitudinal | Pendiente longitudinal mínima: 0,3 % Pendiente longitudinal máxima: 12 % |
| Longitud mínima de las curvas verticales Parámetro K | Tasa de curvatura vertical Convexa K: 1 - 2 Tasa de curvatura vertical Cóncava K: 3 - 6 |
| Bombeo normal | Carreteras pavimentadas: 2 % Carreteras en afirmado: 3 % |
| Sección transversal | Según anchos mínimos del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá y de los instrumentos de planificación que lo desarrollan, ver Tabla 2 |

A continuación, en la Tabla 2 se presentan los anchos mínimos por tipo de calle según el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá y los instrumentos de planificación que lo desarrollan:

Tabla 2. Rangos de referencia por tipos de calle

| RANGOS DE REFERENCIA POR TIPO DE CALLE (Medidas en metros) | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| PERFIL COMPLETO | | | FRANJAS FUNCIONALES | | | | |
| TIPO DE CALLE | ANCHO MÍNIMO | ANCHO MÁXIMO | ANCHOS MÍNIMOS | | | | |
| | | | CIRCULACION PEATONAL | CICLO INFRAESTRUCTURA | TRANSPORTE PÚBLICO | FRANJA VEHICULAR | PAISAJISMO Y CALIDAD |
| A-0 | 90 | >100 | 13 | 8 | 28 | 13 | 23 |
| A-1 | 54 | 66 | 7 | 6 | 17 | 10 | 13 |
| A-2 | 36 | 44 | 6 | 3 | 7 | 7 | 11 |
| A-3 | 27 | 34 | 6 | 3 | 7 | 3 | 8 |
| A-3E | 22 | 27 | 6 | 3 | 6 | 3 | 4 |
| I-4 | 22 | <27 | 5 | 3 | 0 | 6 | 8 |
| I-5 | 18 | <22 | 5 | 1,7 | 0 | 3 | 6 |
| I-6 | 16 | <18 | 6 | 1,7 | 0 | 3 | 3 |
| L-7 | 13 | <16 | 4 | 1,7 | 0 | 3 | 3 |
| L-8 | 10 | <13 | 4 | 0 | 0 | 3 | 2 |
| L-9 | 7 | <10 | 4 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| L-10 | 4 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá e instrumentos de planificación que lo desarrollan

2.4.4 Descripción del trazado

Se diseñará una vía perimetral en la parte interna del predio del Patio Taller que se encuentra localizado entre las calles 145 y 146, carrera 147 a 65 metros al oriente del río Bogotá, su longitud aproximada es de 2,8 km, se proyectará como vía bidireccional con 6,0 metros de ancho de calzada, desde esta vía se podrá acceder a las diferentes áreas del patio a través de ramales de acceso. En la Figura 1 se presenta el trazado en planta de la vía perimetral.

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

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



Figura 1. Trazado en planta vía perimetral Patio Taller
Fuente: Elaboración propia

2.5 CONCLUSIONES

En el documento se describe la vía perimetral que se diseñará en la zona del patio taller en el proyecto L2MB desde el componente de diseño geométrico y se presenta el trazado en planta con una longitud aproximada. Los diseños en planta, perfil y sección transversal a nivel de factibilidad serán el producto final que se obtendrá al finalizar los trabajos que hacen parte del ET07 Diseño Geométrico Vial.

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

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

2.6 ANEXOS

En el plano anexo ET07-DG-002 se presentan los trazados en planta de las vías que se diseñarán en el proyecto L2MB.



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

| |
|-----------------------------|
| J. C. Pantoja 18-05-2022 |
| Director de estructuración |

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ... | 6 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ... | 6 |
| 10.14 PATIOS Y TALLERES | 6 |
| 10.14.6 - Mecánica | 6 |
| 10.14.6.1 Sistema de extinción de incendios | 6 |
| 10.14.6.1.1. Normatividad | 6 |
| 10.14.6.1.1.1. Normatividad Nacional | 6 |
| 10.14.6.1.1.2. Normatividad Internacional | 7 |
| 10.14.6.1.2. Criterios de Diseño Generales | 7 |
| 10.14.6.1.3. Protección con hidrantes | 8 |
| 10.14.6.1.3.1. Caudal de diseño de la red de hidrantes | 8 |
| 10.14.6.1.3.2. Tiempo de suministro del sistema de hidrantes | 8 |
| 10.14.6.1.3.3. Presión de diseño del sistema de hidrantes | 8 |
| 10.14.6.1.3.4. Número de hidrantes requeridos | 8 |
| 10.14.6.1.3.5. Ubicación de hidrantes | 9 |
| 10.14.6.1.3.6. Bloques de empuje | 10 |
| 10.14.6.1.3.7. Dimensionamiento del sistema de hidrantes | 12 |
| 10.14.6.1.4. Protección con gabinetes | 12 |
| 10.14.6.1.4.1. Caudal de diseño de la red de gabinetes | 12 |
| 10.14.6.1.4.2. Tiempo de suministro del sistema de gabinetes | 13 |
| 10.14.6.1.4.3. Presión de diseño del sistema de gabinetes | 13 |
| 10.14.6.1.4.4. Número de gabinetes requeridos | 13 |
| 10.14.6.1.4.5. Ubicación de gabinetes | 13 |
| 10.14.6.1.4.6. Dimensionamiento del sistema de gabinetes | 13 |
| 10.14.6.1.5. Protección con rociadores automáticos | 15 |
| 10.14.6.1.5.1. Caudal de diseño del sistema de rociadores | 15 |
| 10.14.6.1.5.2. Tiempo de suministro del sistema de rociadores | 16 |
| 10.14.6.1.5.3. Número de rociadores requeridos | 16 |
| 10.14.6.1.5.4. Número de rociadores activos | 17 |
| 10.14.6.1.5.5. Número de risers (puestos de control) | 17 |
| 10.14.6.1.5.6. Diámetro de tubería | 17 |
| 10.14.6.1.5.7. Dimensionamiento del sistema de rociadores | 18 |
| 10.14.6.1.6. Protección con boquillas abiertas | 19 |
| 10.14.6.1.6.1. Parámetros de diseño | 19 |
| 10.14.6.1.6.2. Dimensionamiento del sistema de agua pulverizada | 20 |
| 10.14.6.1.5. Cuarto de bombas | 20 |
| 10.14.6.1.5.1. Bomba principal | 21 |
| 10.14.6.1.5.2. Bomba de respaldo | 22 |

| | |
|--|----|
| 10.14.6.1.5.3. Bomba sostenedora de presión | 22 |
| 10.14.6.1.5.4. Conexiones para bomberos | 23 |
| 10.14.6.1.5.5.. Cabezal de pruebas | 23 |
| 10.14.6.1.5.6.Soportes de tubería | 24 |
| 10.14.6.1.5.7. Tanque de reserva | 24 |
| 10.14.6.1.5.8. Línea de retorno de seguridad | 25 |
| 10.14.6.1.5.9. Línea de retorno de prueba | 25 |
| 10.14.6.1.6. Línea de distribución de agua | 26 |
| 10.14.6.1.6.1. Tubería aérea | 26 |
| 10.14.6.1.6.2. Tubería enterrada | 26 |
| 10.14.6.1.7. Protección con extintores portátiles | 26 |
| 10.14.6.1.8. Protección con agente limpio | 27 |
| 10.14.6.1.9. Anexos | 27 |
| 10.14.6.2 Ventilación y aire acondicionado | 28 |
| 10.14.6.2.1 Descripción de los sistemas | 28 |
| 10.14.6.2.1.1.Áreas de locales técnicos | 28 |
| 10.14.6.2.1.2. Edificio administrativo | 28 |
| 10.14.6.2.2. Norma aplicable | 9 |
| 10.14.6.2.3. Procedimiento de cálculo para dimensionamiento y selección de equipos | 29 |
| 10.14.6.3 Sistema de aire comprimido | 30 |
| 10.14.6.3.1. Descripción del sistema. | 10 |
| 10.14.6.3.2. Normatividad aplicable. | 31 |
| 10.14.6.3.3. Consideraciones del diseño | 31 |
| 10.14.6.4 Sistemas de bombeo | 32 |
| 10.14.6.4.1 Descripción de los sistemas | 11 |
| 10.14.6.4.1.1 Bombeo de agua potable | 32 |
| 10.14.6.4.1.2 Bombeo de aguas residuales | 33 |
| 10.14.6.4.1.3 Bombeo de agua de servicio | 34 |
| 10.14.6.4.1.4 Bombeo de agua pluviales y drenajes | 35 |
| 10.14.6.4.2 Normativa aplicable | 35 |
| 10.14.6.4.3 Procedimiento de cálculo para dimensionamiento y selección de equipos | 36 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Edificios previstos a proteger con rociadores automáticos

Tabla 2. Edificios previstos a proteger con gabinetes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema conceptual del sistema de aire comprimido

Figura 2. Esquema del sistema de bombeo de agua potable con hidroacumuladores

Figura 3. Bomba sumergible

Figura 4. Bomba centrífuga horizontal

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN

10.14 PATIOS Y TALLERES

10.14.6 - Mecánica

10.14.6.1 Sistema de extinción de incendios

A partir de los requerimientos de protección de la NSR-10 y la NFPA se establecen los sistemas de protección contra incendio para proteger la vida de las personas dentro de las instalaciones. En este capítulo se presentan los aspectos relevantes para el cálculo y definición de estos sistemas.

10.14.6.1.1. Normatividad

Se presenta la normatividad nacional e internacional aplicable al proyecto.

10.14.6.1.1.1. Normatividad Nacional

- Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 (v.2019), correspondiente a la tercera actualización, expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010. Reglamento de Construcciones Sismo-Resistentes o la norma vigente en caso de actualización.
- NS-128 (v. 2009) Lineamientos Generales para Diseño y Construcción de Instalaciones Hidrosanitarias Internas y Sistemas Contra - Incendio.
- NTC 2885 (v.2009) Extintores portátiles contra incendios.
- NTC 1669 (v.2009) Norma para la instalación de conexiones de mangueras contra incendio.
- NTC 2301 (v.2011) Norma para la instalación de sistemas de rociadores.
- NTC 2702 (v.1997) Hidrantes de cuerpo seco contra incendios.
- RAS Título B Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título B.
- NTC 2050 (v.1998) Código Eléctrico Colombiano.
- RETIE (v.2013) Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
- Normativa urbanística de aplicación de los municipios que atraviesa el sistema férreo a diseñar, incluyendo sus Planes de Ordenamiento Territorial vigentes al momento de realizar los diseños.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP
- Normas Técnicas Colombianas (NTC), entre las cuales se destacan, sin limitarse a estas:
 - NTC 6047 – Accesibilidad al Medio Físico.
 - NTC 414 – Accesibilidad a Edificios y Espacios Urbanos.
 - NTC 5183 – Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores
 - NTC 4139 – Por el cual se reglamenta la accesibilidad a los modos de transporte a la población en general y en especial de las personas con discapacidad.

- Normas y Especificaciones vigentes de Diseño y Construcción de EAAB, ETB, ENEL
- Ley 361 de 1997 – Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas en situación de discapacidad y se dictan otras disposiciones.

10.14.6.1.1.2. Normatividad Internacional

- NFPA 130 (v. 2020): Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems. National Fire Protection Association.
- NFPA 70 (v.2020) National Electric Code (NEC).
- NFPA 10 (v.2022) Portable Fire Extinguishers.
- NFPA 12 (v.2022) Standard on Carbon Dioxide Extinguishing Systems
- NFPA 13 (v.2022) Standard for the Installation of Sprinkler Systems.
- NFPA 14 (v.2019) Standpipe and Hose Systems.
- NFPA 15 (v.2022) Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection.
- NFPA 20 (v.2022) Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection.
- NFPA 22 (v.2018) Standard for Water Tanks for Private Fire Protection.
- NFPA 24 (v.2022) Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and their Appurtenances.
- NFPA 25 (v. 2020) Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems
- NFPA 30 (v.2021) Flammable and Combustible Liquids Code.
- NFPA 30A (v. 2021) Code for Motor Fuel Dispensing Facilities and Repair Garages
- NFPA 72 (v.2022) National Fire and Signaling Code.
- NFPA 80 (v.2022) Standard for Fire Doors and Other Opening Protectives.
- NFPA 170 (v.2021) Standard for Fire Safety and Emergency Symbols.
- NFPA 221 (v.2021) Standard for High Challenge Fire Walls, Fire Walls, and Fire Barrier Walls.
- NFPA 2001 (V.2022) Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems.
- UL Underwriter Laboratories" Fire Protection Equipment Directory.
- FM Factory Mutual.
- Normas UIC - International Union of Railways.
- Eurocodes. CEN. European Committee for Standardization.
- Normas EN

10.14.6.1.2. Criterios de Diseño Generales

Los diseños del sistema de extinción de incendios se harán cuando se tenga la arquitectura definida del Patio Taller, sin embargo se deben tener en cuenta algunos criterios establecidos según la normativa vigente:

- Los extintores portátiles solicitados para las obras de construcción se instalarán de acuerdo a la NFPA 25, NTC 2885 y NFPA 10.
- Los hidrantes en los túneles tendrán suministro desde el patio taller y estarán dispuestos de acuerdo a la NFPA 130, NTC 1669 y NFPA 14.
- El sistema de bombeo estará diseñado con base en la NFPA 24 y NFPA 20, a partir de la mayor demanda de caudal y presión. El tanque de reserva contra incendio se establecerá a partir de la mayor demanda de agua y tiempo, con base en la NFPA 22.
- Las especificaciones de los gabinetes y tomas de manguera seguirán las directrices de la NFPA 130, NTC 1669 y NFPA 14.

- Se instalarán interruptores de emergencia eléctrica cerca a los gabinetes y tomas de manguera del túnel para poder cortar la tensión a la línea de contacto.
- Las salidas de emergencia de los túneles serán protegidas de acuerdo con la NFPA 130.
- Las salidas de emergencia del patio taller serán protegidas de acuerdo con la NFPA 130.
- Todos los sistemas de protección contra incendio serán diseñados a partir de la normativa NFPA y NTC correspondientes.

10.14.6.1.3. Protección con hidrantes

Los hidrantes son tomas de manguera Clase I para los vehículos del cuerpo de bomberos, se abastecen del tanque de almacenamiento del Sistema Contra Incendio y son mandatorios para cualquier tipo de construcción (NSR-10:J.2.4.4, NTC 2702).

Se instala por lo menos un hidrante cada 5.000 m² de área construida, o densidades mayores para edificios listados en la Tabla 2.2, como por ejemplo un hidrante por cada 500 m² de área de almacenamiento (NSR-10:J.2.4.4).

Los hidrantes deben ser de parte superior roja (NSR-10:J.2.4.4.1) para un caudal de operación de 250 gpm (15,77 l/s) cada uno (NFPA 14:7.10.1.1.3).

10.14.6.1.3.1. Caudal de diseño de la red de hidrantes

La norma NFPA 14 en el numeral 7.10.1.1.2 contempla que cuando una red principal (horizontal) abastece tres o más conexiones de manguera, el caudal mínimo es de 750 gpm (2.850 l/min), y que los cálculos hidráulicos y diámetros deben estar basados en un suministro de 250 gpm (950 l/min) en cada una de las tres conexiones más remotas hidráulicamente.

10.14.6.1.3.2. Tiempo de suministro del sistema de hidrantes

De acuerdo con el numeral 9.2 de la NFPA 14, el tiempo de suministro de agua mínimo es de 30 minutos.

10.14.6.1.3.3. Presión de diseño del sistema de hidrantes

En la norma NFPA 14 se encuentra previsto que la presión residual mínima en cada hidrante es de 100 psi (numeral 7.8.1), mientras que la máxima es de 175 psi (numeral 7.2.3.2). Estas presiones deben cumplirse para los 3 hidrantes hidráulicamente más remotos según la NFPA 14: 7.8.1.

10.14.6.1.3.4. Número de hidrantes requeridos

De acuerdo a la NSR-10: Tabla J.2.4-1 (ver Tabla 1) se determina el número mínimo de hidrantes que requiere cada edificación con base en su uso.

Tabla 4. Densidad mínima de hidrantes por ocupación. NSR-10: Tabla J.2.4-1.

| Edificación | Área / hidrante, m ² |
|---|---------------------------------|
| Edificios cuya altura de evacuación descendente sea más de 28 metros o ascendente de más de 6 metros. | 500 |
| Cines, teatros, auditorios y discotecas. | 500 |
| Recintos deportivos. | 500 |
| Locales comerciales. | 1 000 |
| Estacionamientos. | 1 000 |
| Hospitales | 500 |
| Residencias | 5 000 |
| Atención al público | 500 |
| Educación | 1 000 |
| Almacenamiento | 500 |

10.14.6.1.3.5. Ubicación de hidrantes

La NSR-10:J.2.4.5 indica que por lo menos un hidrante esté situado a no más de 100 m del acceso de cada edificio, que los demás se encuentren razonablemente repartidos por el perímetro, y sean accesibles para los vehículos del servicio del cuerpo de bomberos, lo que permite compartir el área de cobertura de los hidrantes que atienden accesos a otros edificios como hidrantes perimetrales.

De acuerdo con la NSR-10: J.2.4.4-8, todo el lote debe protegerse con hidrantes de la siguiente manera:

- Se instalarán hidrantes tipo tráfico en todo el perímetro del lote.
- Todos los edificios se protegerán con hidrantes sin excepción.
- Los edificios se protegerán con un hidrante cada 500 m².
- Los hidrantes tendrán un radio de cobertura de 61 m, correspondientes a 30 m de manguera y 31 m de chorro.
- Los hidrantes quedarán sobre andén o sobre zona verde.

Así mismo, se tiene en cuenta lo indicado por el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS: 7.7.12:

- Se ubican de preferencia en las esquinas, en las intersecciones de dos calles y sobre la acera, para un mejor acceso.
- Los hidrantes instalados en andenes, se instalan a una distancia no mayor a 0.5 m del borde exterior hacia adentro.
- Aquellos instalados sobre la zona verde, se instalan a una distancia mayor a 0.5 m del borde exterior del cordón vial.
- Se instalan alejados de obstáculos que impidan su correcto uso.
- No se localizan en las calzadas de las vías, ni contiguos a postes u otros obstáculos que no permitan su correcto uso en caso de incendio.
- Las bocas de los hidrantes deben quedar hacia la calle.
- Se deben usar tantas extensiones como sean necesarias para que el hidrante quede saliente en su totalidad por encima del nivel del terreno.

De acuerdo con lo indicado en la Norma NFPA 24: 7.1.1, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones para los hidrantes:

- Los hidrantes de una red privada se colocan en las inmediaciones de los edificios, en la parte exterior. Estos se abastecen del tanque de almacenamiento del sistema contra incendio y deben ser accesibles para los vehículos del servicio del cuerpo de bomberos.
- Los hidrantes deben ser abastecidos por medio de una tubería de DN150 (6") o superior.
- Se debe instalar una válvula de control en la conexión de cada hidrante, la cual debe estar instalada dentro de los 6,1 m del hidrante.
- La mínima presión residual para los hidrantes recomendada por la NFPA 24 es de 20 psi (1,4 bar) para conexión a vehículo de bomberos.
- De acuerdo con lo especificado en la norma NFPA 24 - Figura A.7.3.1, para realizar la conexión de los hidrantes se debe tener en cuenta lo siguiente:

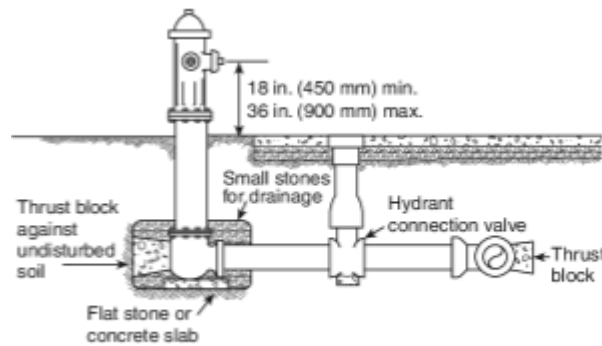


FIGURE A.7.3.1 Typical Dry Barrel Hydrant Connection.

Figura 1. Conexión típica de hidrantes.

También se presentan los requisitos de la NFPA 14:

- Operación de mínimo 30 minutos.
- Demanda de 250 gpm (950 l/min) por salida de DN65 (2½").
- Los hidrantes tipo tráfico tienen dos salidas de DN65 (2½").
- Para diseños con más de 2 puntos de conexión, el diseño se debe asumir para 3 tomas simultáneas, con un total de 750 gpm (2.850 l/min).
- Se espera un consumo de 85.500 litros para el sistema de hidrantes.
- Para tomas de manguera de DN65 (2½") se requiere entregar entre 100 y 175 psi.

10.14.6.1.3.6. Bloques de empuje

Conforme a la normativa NFPA 24:10.6 la tubería de suministro de agua para sistemas contra incendio debe contar con un método de restricción de movimiento en los cambios de dirección. Este tipo de restricción puede estar dado por bloques de empuje (NFPA 24:10.6.1), uniones de restricción (NFPA 24:10.6.2), o métodos de unión específicos (NFPA 24: 10.6.3). Las conexiones roscadas, ranuradas, soldadas, unidas por termofusión o químicamente, no requieren métodos de restricción adicionales, siempre que dichas conexiones pasen la prueba hidrostática.

Así mismo, en el Manual AWWA M55, Capítulo 8 "Installation – Thrust Blocks" se enuncia que: "Los sistemas de tuberías de presión ANSI / AWWA C906 que están unidos por fusión térmica, electro-fusión, bridas y adaptadores MJ están

completamente restringidos y no requieren fijaciones de articulación externas o anclajes de articulación de bloque de empuje". Por lo tanto, la tubería enterrada no requiere bloques de empuje o sistemas de restricción de movimiento adicionales a la conexión de la tubería por termo-fusión como se indica en los planos de montaje y en este documento. Por otra parte, el afloramiento de tubería para hidrantes en hierro fundido y conexiones bridadas requiere un sistema de restricción adicional.

A continuación se muestra el cálculo de la fuerza estática en los cambios de dirección para el dimensionamiento de los bloques de empuje en estos puntos según la normativa NFPA 24:10.6.1.

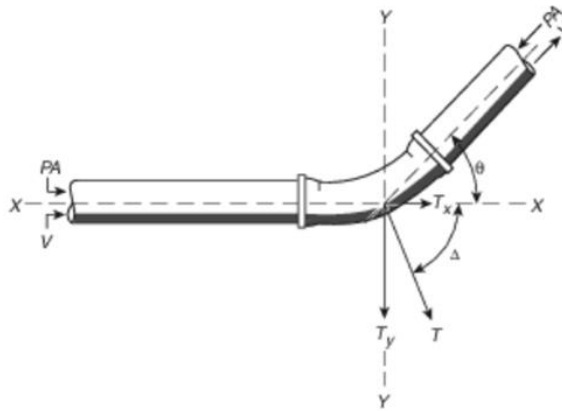


Figura 2. Fuerzas actuantes en cambio de dirección.

$$\Delta = \left(90 - \frac{\theta}{2}\right)$$

$$A = 36\pi(D')^2$$

Ecuación 10. Ángulo de fuerza resultante

Ecuación 11. Área transversal

$$T_x = PA(1 - \cos\theta)$$

Ecuación 12. Fuerza resultante paralela

$$T_y = PA \sin\theta$$

Ecuación 13. Fuerza resultante perpendicular

$$T = 2PA \sin \frac{\theta}{2}$$

Ecuación 14. Fuerza total resultante

Donde:

T = Fuerza estática resultante por el cambio de dirección en el flujo (lbf).

T_x = componente de la fuerza estática actuando paralelo a la dirección original del flujo (lbf).

T_y = componente de la fuerza estática actuando perpendicular a la dirección original del flujo (lbf).

P = Presión del agua (psi).

A = Área transversal calculada a partir del diámetro externo de la tubería (in²).

Δ = Ángulo de fuerza resultante respecto a la dirección original del flujo.

θ = Ángulo de desviación a la dirección original del flujo (90°).

10.14.6.1.3.7. Dimensionamiento del sistema de hidrantes

Con base en los requerimientos de la norma NSR-10, RAS 2010, NFPA 14 y NFPA 24, disponibilidad comercial de materiales y facilidad de montaje, se escogen las siguientes características para el sistema:

- El radio de cobertura por hidrante es de 61 m al aire libre, correspondientes a cuadrículas de 10.000 m².
- Se estima un total de 33 hidrantes para el área total del lote, de cerca de 322.700 m².
- La demanda de agua para hidrantes se estima en 750 gpm (2.850 l/min) con 3 hidrantes operando simultáneamente.
- El sistema de hidrantes debe operar por lo menos 30 minutos.
- Se espera un consumo de 85.500 litros para el sistema de hidrantes.
- Los hidrantes serán de tipo tráfico ubicados sobre el nivel del piso. El material de estos hidrantes es hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12 o similar. Tiene dos salidas de 2½" y una salida de 4½", todas con tapa y cadena.
- Los hidrantes contarán con una caja de sectorización con tapa, que almacena una válvula de compuerta OS&Y en pedestal y pozo seco. La válvula será de preferencia electrónicamente supervisada. La caja deberá contar con inclinaciones para el drenaje y sistema de drenaje por tubería o bomba de achique.
- La tubería se estima entre DN100 y DN200, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido a que la tubería es enterrada, será metálica en hierro fundido para darle rigidez y soporte al hidrante desde la caja, de preferencia ASTM A536 Gr. 65-45-12.
- Los accesorios de la tubería serán metálicos, de preferencia hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12.
- La tubería y sus accesorios tendrán uniones bridadas ASME B16.5, Serie A, 125# o 250#, o uniones mecánicas rápidas.
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.

10.14.6.1.4. Protección con gabinetes

Los edificios que requieren la instalación de gabinetes son especificados en la norma NSR-10: J.4.3, y son diseñados y ubicados según las normas NTC 1669 y NFPA 14. En caso de ser demandados deben tener un área de cobertura conjunta que incluya todos los recintos del edificio.

El gabinete Clase III consiste en un juego de accesorios que contiene hacha, llave Spanner, extintor ABC, una válvula angular para conexión de manguera de bomberos de 2½" y una válvula angular con manguera conectada y contenida de 1½" y 30 metros de longitud (NFPA 14: 3.3.22.3).

El material de la tubería será de acero ASTM A-53 Grado B, sin costura, SCH 40, ranurado para la línea de suministro y roscado en los gabinetes.

10.14.6.1.4.1. Caudal de diseño de la red de gabinetes

Según las normas NTC 1669:7.10.1.12 y NFPA 14: 7.10.1.1.2, la demanda de una red principal que abastece tres o más conexiones de manguera, el caudal mínimo es de 750 gpm (2.850 l/min), así como que los cálculos hidráulicos y diámetros deben estar basados en un suministro de 250 gpm (950 l/min) en cada una de las tres conexiones más remotas hidráulicamente.

10.14.6.1.4.2. Tiempo de suministro del sistema de gabinetes

El tiempo de suministro de agua mínimo de acuerdo a la NFPA 14: 9.2 es de 30 minutos.

10.14.6.1.4.3. Presión de diseño del sistema de gabinetes

Para la conexión de 1½" (40 mm) la presión residual debe ser entre 65 y 100 psi, mientras que en la de 2½" (65 mm) debe ser entre 100 y 175 psi (NFPA14, incisos 7.2.3.1 a 2 y 7.8.1). Cuando las presiones residuales en los puntos de conexión superen las máximas establecidas se debe instalar una válvula reguladora de presión para limitar la presión residual en el flujo (NFPA 14: 7.2.3.1), sin embargo el tipo de válvula angular tiene incorporado un sistema de reducción de presión calibrado, lo que simplifica el diseño.

Estas presiones deben cumplirse para los 3 gabinetes hidráulicamente más remotos según la NFPA 14: 7.8.1.

10.14.6.1.4.4. Número de gabinetes requeridos

Los gabinetes Clase III son ubicados de tal forma que no excedan una distancia de 61 m hasta el punto más lejano a proteger en edificios con sistema de rociadores automáticos, y de 39,7 m para edificios sin sistema de rociadores automáticos (NFPA 14, incisos 7.3.2.2.1.1 y 2).

10.14.6.1.4.5. Ubicación de gabinetes

Cada gabinete debe contar con una señalización visible y debe ser claramente identificable (NFPA 14: 6.3.8). Las válvulas se deben ubicar a una altura no menor de 0,9 m ni mayor a 1,5 m sobre el nivel del piso, con libre acceso y sin obstrucciones (NFPA 14: 7.3.1.1).

Los gabinetes se ubican preferiblemente en las salidas y corredores de emergencia (NFPA 14, incisos 7.3.2 y 7.3.4).

10.14.6.1.4.6. Dimensionamiento del sistema de gabinetes

De acuerdo a la NSR-10: J.4.3.3, se seleccionan las áreas que requieren la protección con mangueras. Esta protección es compartida entre hidrantes y gabinetes. La protección con gabinetes se determina cuando el alcance de la manguera (30 m) y un chorro de 9,7 m no es suficiente para atender todos los recintos desde el hidrante más cercano.

De acuerdo con la evaluación de los edificios propuestos y su uso, se estiman las siguientes áreas para ser protegidas con rociadores automáticos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Edificios previstos a proteger con gabinetes

| # | EDIFICIO | ÁREA m2 | CATEGORÍA | CANTIDAD |
|---|----------|---------|-----------|----------|
| | | | A | D |

| | | | | |
|----|--|--------|-----|---|
| 1 | Cochera/Estacionamiento 30 trenes | 27.000 | A-1 | 4 |
| 13 | Área Técnica Estacionamiento | 3.150 | A-1 | 2 |
| 2 | Vía de lavado intensivo | 3.600 | F-2 | 2 |
| 5 | Mantenimiento menor - 3 vías elevadas | 9.000 | A-1 | 2 |
| 6 | Torno en foso | 3.600 | F-1 | 2 |
| 7 | Mantenimiento mayor - 2 vías sobre losa / 1 vía pintura / 1 vía lavado técnico | 14.400 | A-1 | 2 |
| 8 | Mantenimiento de infraestructura | 9.000 | A-1 | 2 |
| 9 | Administración / OCC | 10.000 | C-1 | 5 |
| 10 | Edificaciones técnicas (subestación tracción / tanques de agua / PTAR / etc.) | 10.603 | F-2 | 2 |

A partir de la NSR-10, el sistema de gabinetes se diseña a partir de la NFPA 14 vigente.

Con base en los requerimientos de la norma NFPA 14, disponibilidad comercial de materiales y facilidad de montaje, se escogen las siguientes características para el sistema:

- Se deben instalar gabinetes de red húmeda ubicados de tal forma que no excedan una distancia hasta el punto más lejano a proteger de 61 m para edificaciones con sistema de rociadores automáticos y de 39,7 m para edificaciones sin sistema de rociadores automáticos.
- Se opta por gabinetes Clase III, considerando la posibilidad de que se cuente con tomas de manguera de DN40 (1½") para uso de brigadistas o personal capacitado, y con conexiones de manguera de DN65 (2½") para el uso del departamento de bomberos.
- El gabinete Clase III consiste en un juego de accesorios como hacha, llave spanner, extintor ABC de 20 lb, válvula angular para conexión de manguera de bomberos de DN65 (2½") y válvula angular con manguera conectada y contenida de DN40 (1½") y 30 metros de longitud. Las válvulas se ubican a una altura no menor de 0,9 m ni mayor a 1,5 m sobre el nivel del piso.
- Para la conexión de DN40 (1½") se requiere entregar de 65 a 100 psi. Para la conexión de DN65 (2½") se requiere entregar entre 100 y 175 psi. Cuando las presiones residuales en los puntos de conexión superen las máximas establecidas se debe instalar una válvula reguladora de presión para limitar la presión residual en el flujo, sin embargo el tipo de válvula angular tiene incorporado un sistema de reducción de presión calibrado, lo que favorece el diseño.
- Cada gabinete cuenta con un interruptor de flujo que emitirá una señal de alarma al sistema de control durante su uso.
- Para diseños con más de 2 puntos de conexión, el diseño se debe asumir para 3 tomas simultáneas, con un total de 750 gpm (2.850 l/min).
- El sistema de gabinetes debe operar por lo menos 30 minutos.
- Se espera un consumo de 85.500 litros para el sistema de gabinetes.
- La tubería se estima entre DN25 y DN150, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido a que no se esperan riesgos corrosivos, la tubería será de tipo metálica, de preferencia acero al carbono ASTM A-53 SCH 40, pintada con pintura epóxica roja con base anticorrosiva de zinc.
- Los accesorios de la tubería serán metálicos, de preferencia hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12.

- La tubería y sus accesorios tendrán uniones ranuradas AWWA C-606 o roscadas NPT, de acuerdo a los elementos a conectar a ella.
- Toda la tubería debe estar soportada entre 3,7 y 4,6 m, dependiendo del diámetro. Los soportes serán estándares y de preferencia tipo pera (colgante), pedestal (piso) y correa corta (paredes).
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.

10.14.6.1.5. Protección con rociadores automáticos

La norma NSR-10: J.4.3 especifica los edificios que deben ser protegidos con rociadores automáticos según su clasificación y características. Ya determinados los edificios que deben ser protegidos se utiliza la NFPA 13 para calcular, diseñar y ubicar el sistema de rociadores automáticos.

La bomba del sistema contra incendio, al operar con diesel, clasifica al Cuarto de Bombas en el grupo de ocupación “Alta Peligrosidad (P)”, categoría que según la NSR-10:J.4.3.7.1 es mandatorio protegerla con sistema de rociadores automáticos, así como también lo dice la NFPA 20:4.13.1.3, bajo la clasificación de riesgo Extraordinario Grupo 2.

10.14.6.1.5.1. Caudal de diseño del sistema de rociadores

Para determinar la demanda de agua del sistema de rociadores automáticos se utiliza la curva de densidad/área para el riesgo correspondiente según la NFPA 13, Figura 19.2.3.1.1.

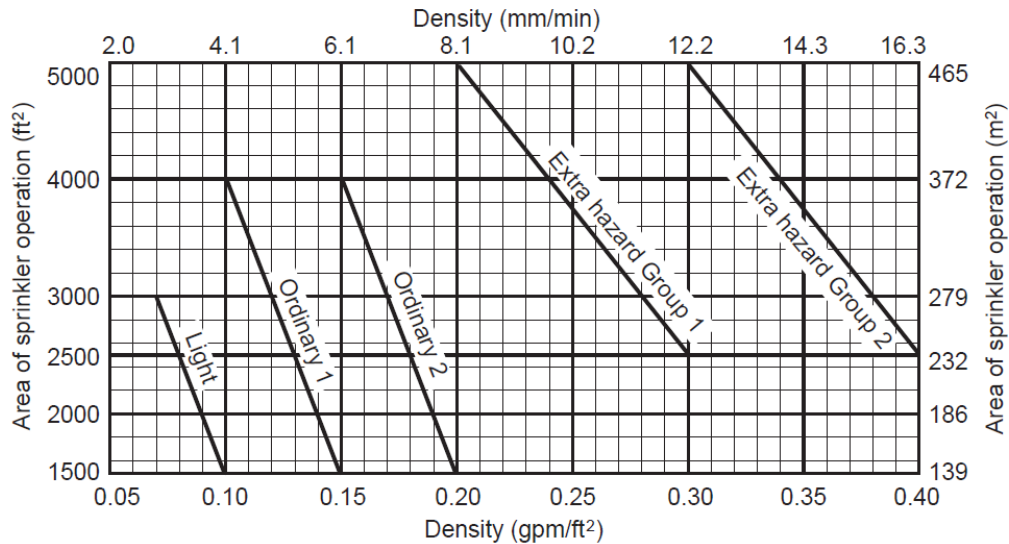


Figura 3. Densidad de diseño según área. NFPA 13: 19.2.3.1.1.

El área de diseño A_d corresponde al área estimada estadísticamente por la NFPA como la mayor área en la que se presenta un incendio según el riesgo. Para áreas menores a las contenidas en cada curva se utiliza la menor de la curva, y para áreas mayores a las contenidas en la curva se utiliza el área mayor contenida en la curva.

La densidad de diseño corresponde entonces al corte de la curva del riesgo a proteger con el área de diseño A_d .

$$Q_d = \begin{cases} D_{Amin} A_{min} & \text{si } A_z < A_{min} \\ D_{Az} A_z & \text{si } A_{min} < A_z < A_{max} \\ D_{Amax} A_{max} & \text{si } A_z > A_{max} \end{cases}$$

Ecuación 15. Caudal de diseño de rociadores

Donde:

A_z = Área de la zona a proteger.

A_{min} = Área de diseño mínima de la curva del riesgo correspondiente en la Figura 4.

A_{max} = Área de diseño máxima de la curva del riesgo correspondiente en la Figura 4.

D_{Az} = Densidad de diseño correspondiente al área de la zona (Figura 4).

D_{Amin} = Densidad de diseño correspondiente al área mínima de diseño (Figura 4).

D_{Amax} = Densidad de diseño correspondiente al área máxima de diseño (Figura 4).

De esta forma se calcula el caudal de diseño Q_d del edificio según el riesgo del recinto a proteger.

10.14.6.1.5.2. Tiempo de suministro del sistema de rociadores

El tiempo de suministro del sistema de rociadores se determina a partir del método de diseño de densidad/área como se establece en la Tabla NFPA 13: 19.2.3.1.2 (ver Tabla 2). De acuerdo a lo establecido en la NFPA 13:19.2.3.1.3, se puede usar el menor valor de tiempo de suministro para sistemas completamente monitoreados y atendidos.

Tabla 5. Tiempo de suministro por riesgo. NFPA 13: 19.2.3.1.2.

| Occupancy | Inside Hose | | Total Combined Inside and Outside Hose | | Duration (minutes) |
|-----------------|---------------|----------------|--|-------|--------------------|
| | gpm | L/min | gpm | L/min | |
| Light hazard | 0, 50, or 100 | 0, 190, or 380 | 100 | 380 | 30 |
| Ordinary hazard | 0, 50, or 100 | 0, 190, or 380 | 250 | 950 | 60-90 |
| Extra hazard | 0, 50, or 100 | 0, 190, or 380 | 500 | 1900 | 90-120 |

10.14.6.1.5.3. Número de rociadores requeridos

El número mínimo de rociadores requeridos se determina como el cociente entre el área total del recinto sobre el área máxima de cobertura de un rociador, aproximado al entero mayor.

$$N_r = \left\lceil \frac{\text{Área edificio}}{\text{Área máx./rociador}} \right\rceil$$

Ecuación 16. Número de rociadores requeridos

El área de cobertura por rociador se encuentra tabulada en los siguientes apartes de la norma NFPA 13, según el riesgo:

- Riesgo ligero: Tabla NFPA 13: 10.2.4.2.1(a): 11-20 m².
- Riesgo ordinario: Tabla NFPA 13: 10.2.4.2.1(b): 12 m².
- Riesgo extraordinario: Tabla NFPA 13: 10.2.4.2.1(c): 8,4-12 m².

- Riesgo de almacenamiento de altura: Tabla NFPA 13: 10.2.4.2.1(d): 9-12 m².

10.14.6.1.5.4. Número de rociadores activos

El número de rociadores activos se determina mediante la NFPA 13: 19.3.3.3, por el método de área / densidad, mediante la Ecuación 16.

$$N_{ra} = \{N_r \text{ si } A_z \leq A_d ; \left[\frac{A_d}{A_z} N_r \right] \text{ si } A_z > A_d \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

A_z = Área de la zona a proteger.

N_r = Número de rociadores requeridos, ecuación (2.7).

A_d = Área de diseño, la misma utilizada en la ecuación (2.6).

De esta forma se determina el número máximo de rociadores que, según estadísticas de la NFPA, se encienden al mismo tiempo en un incendio según el riesgo.

10.14.6.1.5.5. Número de risers (puestos de control)

El número de risers (puestos de control) se calcula el cociente mayor entero entre el área total de las zonas a proteger y el área máxima de cobertura de un solo riser.

$$N_R = \left\lceil \frac{\text{Área zona}}{\text{Área max. cobertura / riser}} \right\rceil \quad \text{Ecuación 18. Número de risers}$$

El área máxima de cobertura por riser se encuentra listada en los siguientes apartes de la norma NFPA 13: 4.5.1, según el riesgo:

- Riesgo ligero: 4830 m².
- Riesgo ordinario: 4830 m².
- Riesgo extraordinario: 3720 m².
- Riesgo de almacenamiento de altura: 3720 m².
- Riesgo de almacenamiento en estanterías: 3720 m².

10.14.6.1.5.6. Diámetro de tubería

El diámetro nominal de línea de suministro se encuentra en función de la velocidad de diseño, a partir de la velocidad de diseño de 3,0 m/s, mencionada en el inciso NFPA 13: 6.10.2.1.3.

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad \text{Ecuación 19. Diámetro de tubería}$$

10.14.6.1.5.7. Dimensionamiento del sistema de rociadores

De acuerdo con la NSR-10: J.4.3.3, las áreas abiertas mayores a 1.000 m² destinadas para el uso de estacionamientos, bodegas y talleres (almacenamiento de riesgo moderado A-1) y para el uso de actividades industriales (fabril e industrial de riesgo moderado F-1) requieren la protección de rociadores automáticos.

De acuerdo con la evaluación de los edificios propuestos y su uso, se estiman las siguientes áreas para ser protegidas con rociadores automáticos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Edificios previstos a proteger con rociadores automáticos

| # | EDIFICIO | ÁREA m2 | CATEGORÍA | RISERS | ROCIAD 5,5m |
|----|--|---------|-----------|--------|-------------|
| 1 | Cochera/Estacionamiento 30 trenes | 27.000 | A-1 | 8 | 900 |
| 13 | Área Técnica Estacionamiento | 3.150 | A-1 | 1 | 110 |
| 5 | Mantenimiento menor - 3 vías elevadas | 9.000 | A-1 | 3 | 300 |
| 6 | Torno en foso | 3.600 | F-1 | 1 | 120 |
| 7 | Mantenimiento mayor - 2 vías sobre losa / 1 vía pintura / 1 vía lavado técnico | 14.400 | A-1 | 4 | 480 |
| 8 | Mantenimiento de infraestructura | 9.000 | A-1 | 3 | 300 |

A partir de la NSR-10, el sistema de rociadores automáticos se diseña con base en la NFPA 13 vigente.

La NFPA 20 pide que los cuartos de bombas del sistema contra incendio que contengan bombas diésel sean protegidos con sistema de rociadores.

Con base en los requerimientos de la norma NFPA 13, disponibilidad comercial de materiales y facilidad de montaje, se escogen las siguientes características para el sistema:

- La densidad de cobertura de agua se asume para riesgos tipo Ordinario Tipo I (OH1) y Ordinario Tipo II (OH2), correspondientes a 6,1 l/min/m² y 8,1 l/min/m² respectivamente. De acuerdo al estudio estadístico de la norma, la mayor área de incendio a atender será de 140 m².
- La demanda de agua para rociadores se estima entre 854 l/min (14,23 l/s) y 1.134 l/min (18,9 l/s). Este valor puede ser incrementado por el coeficiente de aspersion de los rociadores (K) que atienden el área a proteger.
- El sistema de rociadores debe operar por lo menos 60 minutos.
- Junto con la protección de rociadores debe operar simultáneamente una manguera de 250 gpm (950 l/min).
- Se espera una demanda mínima de 1.804 l/min (30,07 l/s) para riesgo tipo OH1 y 2.084 l/min (34,73 l/s) para riesgo OH2.
- Se espera un consumo de 125.040 litros para el sistema de rociadores automáticos.
- Los rociadores automáticos serán de tipo colgante (*pendent*) siempre que no queden a menos de 300 mm por debajo de la cubierta. En caso de que la arquitectura de la edificación aleje la tubería de distribución más de 300 mm debajo de la cubierta, se usarán rociadores tipo montante (*up-right*) para poder ubicarlos en esta medida.
- Los rociadores serán de tipo estándar o cobertura extendida de acuerdo a la altura de instalación y la distancia a la que puedan ser instalados entre ellos.

- Los rociadores tendrán una especificación de temperatura de acuerdo a los equipos instalados en su área de activación.
- El coeficiente de aspersion de los rociadores (K) depende de la densidad de diseño requerida y si son estándar o de cobertura extendida.
- La tubería se estima entre DN25 y DN150, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido a que no se esperan riesgos corrosivos, la tubería será de tipo metálica, de preferencia acero al carbono ASTM A-53 SCH 40, pintada con pintura epóxica roja con base anticorrosiva de zinc.
- Los accesorios de la tubería serán metálicos, de preferencia hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12.
- La tubería y sus accesorios tendrán uniones ranuradas AWWA C-606 o roscadas NPT, de acuerdo a los elementos a conectar a ella.
- Toda la tubería debe estar soportada entre 3,7 y 4,6 m, dependiendo del diámetro. Los soportes serán estándares y de preferencia tipo pera (colgante), pedestal (piso) y correa corta (paredes). Se deben incluir soportes sísmicos en los cambios representativos de dirección.
- Cada 4.830 m² deben ser protegidos por un único riser.
- El riser debe tener una tubería independiente, con una válvula mariposa supervisada electrónicamente y una válvula de alarma, compuesta por una válvula de cheque, interruptor electrónico de presión, manómetros análogos aguas arriba y aguas abajo de la válvula de cheque; y válvula de prueba y drenaje.
- Deben existir válvulas de cheque entre grupos de 250 rociadores.
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.

10.14.6.1.6. Protección con boquillas abiertas

El sistema automático de agua pulverizada está previsto para la protección de los transformadores a base de aceite, a partir de las recomendaciones de protección de este tipo de equipos, NFPA 850: 14.6.4. Esta norma establece que es recomendable el uso de un sistema de extinción automática, ya sea rociadores automáticos, sistema agua-espuma, agua pulverizada o sistema aire-espuma. Dos de estos sistemas se descartan por el uso de espumas AFFF que son bastante efectivas contra fuegos clase B (combustibles líquidos), pero son bastante corrosivas para los circuitos eléctricos. Por otra parte el uso de rociadores automáticos sólo es posible en instalaciones bajo techo, lo que define al sistema de agua pulverizada como preferente para esta protección.

10.14.6.1.6.1. Parámetros de diseño

Los sistemas de agua pulverizada son diseñados a partir de la norma NFPA 15, la cual establece que deben cumplirse los siguientes parámetros de diseño:

- El caudal de diseño de boquillas abiertas se establece a partir de la densidad de diseño multiplicada por el área de diseño.
- La densidad de diseño es equivalente a 10,2 l/min/m² para transformadores (NFPA 15: 7.4.4.3.1).
- Para transformadores el área de diseño es equivalente al prisma rectangular del equipo (NFPA 15: 7.4.4.3.1).
- El caudal de diseño debe asegurar el caudal de boquillas abiertas más una manguera (250 gpm) (NFPA 15: 7.4.4.3.6).
- El tiempo de operación debe ser mínimo 1 hora (NFPA 15: 7.4.4.3.6).

Existen dos factores correlacionados que se deben intersectar para la selección de boquillas:

- Ángulo de aspersión: Es el ángulo que se usa para garantizar la cobertura en un arreglo de boquillas con áreas divididas en cuadrantes dados por catálogo. Cada fabricante determina el ángulo efectivo de aspersión para garantizar la densidad de diseño, este ángulo puede diferir de la apertura real de descarga.
- Coeficiente de descarga (K): Es el tamaño del orificio el que ofrece una curva de comportamiento caudal vs. presión. Se debe escoger un K mínimo que garantice la densidad de diseño a la presión que está llegando el agua a las boquillas.

10.14.6.1.6.2. Dimensionamiento del sistema de agua pulverizada

Se establecen las siguientes consideraciones de diseño:

- La densidad de diseño es equivalente a 10,2 l/min/m².
- No se tiene un prototipo definido de transformador, sin embargo se presenta un ejemplo con medidas de referencia.
- El área de diseño es equivalente al prisma rectangular del equipo. (p.e. para un área de 4,0 (h) x 5,0 (l) x 3,0 m (w), el área superficial es de 79 m²).
- El caudal de diseño de boquillas abiertas se establece a partir de la densidad de diseño multiplicada por el área de diseño. (p.e. 805,8 l/min).
- Junto con la protección de rociadores debe operar simultáneamente una manguera de 250 gpm (950 l/min).
- El caudal total es la suma del caudal de boquillas y el caudal de manguera. (p.e. 1.755,8 l/min).
- El tiempo de operación debe ser mínimo 60 minutos.
- El consumo de agua es el caudal total por el tiempo de operación. (p.e. 105.348 litros para el sistema de agua pulverizada. Este consumo es menor que los 125.040 litros para el sistema de rociadores automáticos, por lo que no es el consumo crítico).
- El coeficiente de aspersión de los rociadores (K) depende de la densidad de diseño requerida.
- La tubería se estima entre DN25 y DN150, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido a que no se esperan riesgos corrosivos, la tubería será de tipo metálica, de preferencia acero al carbono ASTM A-53 SCH 40, pintada con pintura epóxica roja con base anticorrosiva de zinc.
- Los accesorios de la tubería serán metálicos, de preferencia hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12.
- La tubería y sus accesorios tendrán uniones ranuradas AWWA C-606 o roscadas NPT, de acuerdo a los elementos a conectar a ella.
- Toda la tubería debe estar soportada entre 3,7 y 4,6 m, dependiendo del diámetro. Los soportes serán estándares y de preferencia tipo pera (colgante), pedestal (piso) y correa corta (paredes).
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.

10.14.6.1.5. Cuarto de bombas

Desde el tanque contra incendio se abastece de agua a las redes húmedas del SCI del lote mediante el equipo de bombeo principal bajo normativa NFPA 20 y NFPA 22 vigentes.

Características estimadas para el Cuarto de Bombas:

- El bombeo se ubica en un recinto destinado para este uso, aunque no necesariamente exclusivo, pues puede compartir su uso con sistemas de aire comprimido o bombeo de agua potable.
- Consta de:
 - Bomba principal.
 - Bomba de respaldo.

- Bomba de mantenimiento de presión (jockey).
- Conexiones para bomberos (siamesas).
- Cabezal de pruebas.
- Soportes de tubería.
- Tanque de reserva.
- Tubería.
- Línea de retorno de seguridad.
- Línea de retorno de prueba.
- Las 3 bombas deben estar comunicadas entre sí mediante un by-pass aguas arriba y un by-pass aguas abajo.
- Por seguridad se deben instalar dos succiones. Para tanques en concreto cada succión debe tener una placa antivórtice a la altura del fondo del pozo para aprovechar todo su volumen, y un foso de succión de por lo menos 150 mm de alto.
- Por seguridad se deben instalar dos salidas independientes del cuarto de bombas.
- La bomba principal y la de respaldo deben estar aisladas del resto del sistema mediante juntas antivibratorias.
- Todas las bombas deben contar con válvula de cheque a la descarga y válvulas de aislamiento aguas arriba y aguas abajo de las mismas. Se prefiere el uso de válvulas de compuerta.

10.14.6.1.5.1. Bomba principal

La bomba principal es la que abastece en primera instancia a todos los equipos del sistema contra incendio. Debe escogerse con base en las indicaciones de la NFPA 20 vigente.

A continuación se listan las características de la bomba:

- Bomba horizontal, monoetapa y de carcasa partida, sin embargo si se encuentra sobre el tanque puede ser vertical y multietapa. Uniones bridadas ASME B16.5, Serie A, 150# o 300#, FF.
- Se estima que sea de funcionamiento eléctrico.
- Se estima una demanda base de 750 gpm (2.850 l/min) y hasta 175 psi (12,07 bar). De acuerdo a las previsiones de seguridad de la NFPA 20 vigente se estima una bomba de punto de operación nominal de 1000 gpm (3.800 l/min) y 175 psi, para un consumo de hasta 200 BHP (149, 14 kW).
- Debe ser instalada con succión positiva.
- Esta bomba está usualmente inoperante y se activa en caso de que la red húmeda demande suministro de agua.
- Esta bomba debe tener la capacidad de suministrar el caudal y la presión requeridos en el evento crítico, caudal y presión máximas de los eventos mencionados en los capítulos 10.14F.1.1 al 10.14F.1.4. Se estudian diferentes casos para determinar el evento crítico, bajo las siguientes condiciones:
 - Máximo caudal de diseño: Las pérdidas son proporcionales a la velocidad, que para una tubería de diámetro fijo se traduce en mayor caudal.
 - Máxima demanda sobre una misma línea de suministro: Cuando una única tubería suministra todo el caudal demandado aumentan las pérdidas por incremento en la velocidad de flujo.
 - Mayor altura geométrica: La presión hidrostática que tiene que vencer la bomba es mayor en algunos casos que las pérdidas por fricción.
 - Mayor longitud hidráulica de tubería: Entre más recorrido y menor diámetro, mayor fricción y más pérdidas.
 - Sectores cerrados: La inspección y reparación de secciones de tubería implican el cierre de tramos, que se traducen en recorridos más largos para suministrar agua a una red.
 - Para el cálculo de pérdidas por fricción en tubería se utiliza la fórmula de Hazen-Williams según requerimiento de la NFPA 13 y la NFPA 14, junto con las longitudes equivalentes de la NTC 1669:6, NFPA 13 y NFPA 14.
- La bomba debe incluir todas las conexiones, protecciones y equipos auxiliares para su correcto funcionamiento.
- La bomba y sus equipos auxiliares deben estar listados y certificados UL y/o FM.

- Los componentes eléctricos deben cumplir toda la normativa eléctrica que aplique, como RETIE, NTC 2050, NEMA, etc.

10.14.6.1.5.2. Bomba de respaldo

La bomba de respaldo abastece a todos los equipos del sistema contra incendio ante una inoperancia de la bomba principal por fallo o mantenimiento. La bomba sigue los lineamientos descritos en la NFPA 20 vigente.

A continuación se listan las características de la bomba:

- Debe tener las mismas características de presión y caudal que la bomba principal. Se estima una demanda base de 750 gpm (2.850 l/min) y hasta 175 psi (12,07 bar). De acuerdo a las previsiones de seguridad de la NFPA 20 vigente se estima una bomba de punto de operación nominal de 1000 gpm (3.800 l/min) y 175 psi, para un consumo de hasta 200 BHP (149, 14 kW).
- Bomba horizontal, monoetapa y de carcaza partida, sin embargo si se encuentra sobre el tanque puede ser vertical y multietapa. Uniones bridadas ASME B16.5, Serie A, 150# o 300#, FF.
- Debe ser instalada con succión positiva. Debe ser instalada en paralelo con la bomba principal.
- Esta bomba está usualmente inoperante y se activa en caso de que la bomba principal falle o esté en mantenimiento.
- Esta bomba debe tener la capacidad de suministrar el caudal y la presión requeridos en el evento crítico, caudal y presión máximas de los eventos mencionados en el capítulo 10.14F.1.5.1.
- Se estima que sea de funcionamiento con motor diésel.
 - El motor diésel debe contar con el suficiente aire para operar durante el mayor tiempo de operación del sistema.
 - El motor diésel debe tener un sistema de refrigeración de fábrica a base de agua, conectado aguas abajo del bombeo y con una línea de retorno al tanque de reserva del sistema contra incendio.
 - El motor diésel se alimenta desde un depósito de combustible situado en la misma sala que el equipo, o adyacente al recinto donde se encuentra instalado.
 - El depósito de combustible debe tener una capacidad mínima de 1 gal por cada caballo de potencia más el 5% por volumen por expansión y otro 5% de volumen por succión.
 - El depósito de combustible se llena desde una boca de carga situada en el exterior del recinto, preferiblemente en una zona de fácil acceso para el camión de suministro.
 - El depósito de combustible debe contar con sondas de nivel y una electroválvula que corta el suministro una vez que se haya completado el llenado del tanque.
 - El depósito de combustible debe tener mecanismos que impidan el aumento de presión dentro del tanque, aprobados por la NFPA 20, como válvulas de seguridad.
 - El depósito de combustible debe tener mecanismos que impidan el derrame de combustible, aprobados por la NFPA 20, como tanque de doble pared o dique.
 - El motor diésel debe tener una chimenea de escape de gases de combustión del motor que descargue al exterior del edificio.
 - La chimenea se prevé que sea de acero inoxidable de doble pared.
- La bomba debe incluir todas las conexiones, protecciones y equipos auxiliares para su correcto funcionamiento.
- La bomba y sus equipos auxiliares deben estar listados y certificados UL y/o FM.
- Los componentes eléctricos deben cumplir toda la normativa eléctrica que aplique, como RETIE, NTC 2050, NEMA, etc.

10.14.6.1.5.3. Bomba sostenedora de presión

Durante la inoperancia de la bomba principal, se dispone de una bomba de sostenimiento de presión (jockey) que asegura una presión para uso inmediato del sistema. Debe seguir las indicaciones de la NFPA 20 vigente.

A continuación se listan las características de la bomba:

- Bomba horizontal, multietapa, de motor vertical. Uniones bridadas ASME B16.5, Serie A, 150# o 300#, FF.
- Funcionamiento eléctrico.
- Debe ser instalada en paralelo con la bomba principal y bomba de respaldo.
- Esta bomba debe operar cuando la presión del sistema cae 5 psi.
- Esta bomba debe tener un caudal nominal correspondiente al 1% del caudal nominal de la bomba principal y una presión de 10 psi adicionales a la presión nominal de la bomba principal.
- La bomba debe incluir todas las conexiones, protecciones y equipos auxiliares para su correcto funcionamiento.
- La bomba y sus equipos auxiliares deben estar listados y certificados UL y/o FM.
- Los componentes eléctricos deben cumplir toda la normativa eléctrica que aplique, como RETIE, NTC 2050, NEMA, etc.

10.14.6.1.5.4. Conexiones para bomberos

Se debe disponer de conexiones para bomberos (válvulas siamesas) que se conecten a la red húmeda y dispongan de válvulas antirretorno (cheque) para evitar la fuga de agua cuando se destapen. Estas válvulas permiten que, en caso de que se requiera, la red de extinción de incendios sea presurizada y/o abastecida desde vehículos del cuerpo de bomberos.

A continuación se presentan las características de las conexiones para bomberos:

- Se debe disponer de una entrada por cada 250 gpm (950 l/min) de caudal nominal del sistema.
- Cada entrada debe ser horizontal, DN65 (2½”), roscada NPT, con tapa y cadena.
- Las válvulas siamesas deben traer incluida una válvula de cheque. En caso de no estar incluidas deben ser suministradas junto con las válvulas.
- Deben ser ubicadas a una altura ergonómica para su conexión, entre 700 mm y 1.200 mm por encima del suelo.
- Deben ser instaladas en cada portería y en puntos estratégicos dentro del lote.
- Deben ser instaladas cerca de vías para el acceso desde camión de bomberos.
- Pueden ser tipo pedestal si están sobre el andén, o empotradas en la pared.
- Deben estar listadas y certificadas UL y/o FM. Señalizadas según NFPA.

10.14.6.1.5.5. Cabezal de pruebas

Se debe instalar un cabezal de pruebas que se conecte al bombeo del cuarto de bombas. Este cabezal permite medir periódicamente la capacidad de los equipos de bombeo, tal como lo estipula la NFPA 25.

A continuación se presentan las características del cabezal de pruebas:

- Se debe disponer de una salida por cada 250 gpm (950 l/min) de caudal nominal del sistema.
- Cada salida debe ser horizontal, DN65 (2½”), roscada NPT, con tapa y cadena.
- El cabezal de pruebas debe ser aislado con una válvula de corte, preferiblemente de compuerta.
- Debe ser ubicado a una altura ergonómica para su conexión, entre 700 mm y 1.200 mm por encima del suelo.
- Debe ser instalado en el exterior del edificio donde se encuentra el cuarto de bombas.

- Debe ser instalado cerca a un pozo de drenaje diseñado para recibir su caudal máximo. Se debe basar en la longitud de una manguera de 30 metros.
- Debe quedar empotrado en la pared.
- Debe estar listado y certificado UL y/o FM. Señalizado según NFPA.

10.14.6.1.5.6. Soportes de tubería

Los soportes de tubería se seleccionan según la NFPA 13, en donde se encuentran diferentes tipos de anclaje según el peso, el tipo de estructura y el tipo de movimiento a limitar, de donde se recomiendan los siguientes tipos:

- Soporte tipo Clevis o pera para la tubería horizontal de suministro y ramales.
- Abrazadera de 4 vías para tubería vertical.
- Soporte de ala de perfil con clip retenedor para estructura descubierta.
- Correa corta para tubería que pasa al ras de elementos estructurales.
- Soportes sismo-resistentes para la tubería que pasa lejos de elementos estructurales y en los cambios de dirección.
- Cables listados en caso de requerirse.

La soportería debe ser listada UL y/o aprobada FM, de lo contrario debe ser calculada y certificada. Su selección se basa en el diámetro nominal de la tubería a soportar y la superficie de soporte. Se debe respetar la distancia máxima entre soportes entre 3,7 y 4,6 m, dependiendo del diámetro.

10.14.6.1.5.7. Tanque de reserva

La red húmeda del Sistema de Extinción de Incendios requiere una reserva de agua exclusiva para este sistema, por motivos de seguridad, regida por la norma NFPA 22 vigente.

Se estiman las siguientes características para el tanque:

- El tanque debe disponer con capacidad suficiente para el funcionamiento de los sistemas húmedos de extinción durante todo el tiempo que dure el evento que tenga mayor demanda de agua.
- El tanque debe quedar adyacente al cuarto de bombas. Podría colindar con otros tanques de agua, como el de agua potable.
- El tanque puede ser seccionado.
- Las tomas de succión salen al nivel de los ejes de las bombas. La succión siempre debe quedar en carga positiva.
- El tanque puede ser una estructura de concreto, o puede ser prefabricado en metal, o fibra de vidrio.
- El tanque en concreto, debe tener pozos de succión y de vaciado, y pendientes hacia estos, de forma que pueda aprovecharse todo el volumen de acumulación de agua y se pueda vaciar en su totalidad.
- Si el tanque es prefabricado, debe reposar sobre una base estructural. Debe preverse el volumen útil por encima de la succión, se debe prever el drenaje, ingreso, limpieza y llenado.
- El tanque debe ser cubierto, debe tener escotillas de acceso y sistema de drenaje.
- El agua para el tanque contra incendio se suministra desde la red general de agua potable del lote.
- La acometida debe llenar el tanque en máximo 8 horas. Por lo tanto el flujo de acometida es el cociente del volumen requerido del tanque entre el tiempo de llenado.
- El llenado debe ser automático con opción manual, por lo que debe contar con un control de nivel que pueda accionar la acometida y que también pueda ser accionado manualmente.
- La normativa local podría solicitar un contador propio.

- La normativa local podría permitir que el tanque rebose con en el tanque de agua potable, con el fin de recircular constantemente del agua y minimizar los problemas por estanqueidad.
- Durante las labores de limpieza y mantenimiento se deben implementar maniobras de seguridad que garanticen el abastecimiento externo del sistema de extinción de incendios.
- El mecanismo de vaciado del tanque no debe afectar a los tanques de otros sistemas.
- El equipo de control dispone de un juego de sondas que, ajustadas en altura, detectan los siguientes puntos de actuación en sentido descendente:
 - Nivel de activación de alarma por rebose de agua.
 - Nivel de desactivación de la anterior alarma.
 - Nivel de cierre de la válvula de llenado.
 - Nivel de apertura de la válvula de llenado.
 - Nivel de desactivación de la alarma por nivel mínimo.
 - Nivel de activación de la anterior alarma.
 - Volumen del tanque

10.14.6.1.5.8. Línea de retorno de seguridad

El cuarto de bombas debe contar con una línea de retorno asociada a una válvula de seguridad para garantizar la integridad de los equipos ante una sobrepresión.

A continuación se presentan las características de este sistema:

- El sistema de retorno de seguridad debe conectarse aguas abajo de las bombas.
- El sistema de retorno de seguridad debe conectarse a una válvula de seguridad.
- La tubería aguas abajo de la válvula de seguridad debe ser seca y descargar a un nivel más arriba que la película de agua del tanque.
- La válvula de seguridad debe ser automática, activada mediante piloto, el cual debe venir calibrado de fábrica.
- La válvula se prefiere angular, aunque podría ser lineal, instalada en posición horizontal.
- La válvula debe tener un manómetro análogo.
- La válvula debe poder aislarse mediante una válvula de corte normalmente abierta, preferiblemente de compuerta.
- Las válvulas deben ser listadas UL y/o aprobadas FM.

10.14.6.1.5.9. Línea de retorno de prueba

El cuarto de bombas debe contar con una línea de retorno asociada a un caudalímetro que permite medir periódicamente la capacidad de los equipos de bombeo, tal como lo estipula la NFPA 25.

A continuación se presentan las características de este sistema:

- El sistema de retorno de prueba debe conectarse aguas abajo de las bombas.
- El sistema de retorno de prueba debe conectarse a un caudalímetro.
- La tubería aguas abajo del caudalímetro debe descargar a un nivel más arriba que la película de agua del tanque.
- El caudalímetro debe ser tipo Venturi.
- El caudalímetro debe venir calibrado de fábrica.
- El caudalímetro debe tener medidor análogo.
- La válvula debe poder aislarse mediante una válvula de corte normalmente cerrada, preferiblemente de compuerta.

- Las válvulas deben ser listadas UL y/o aprobadas FM.

10.14.6.1.6. Línea de distribución de agua

La red de distribución de agua para sistemas de extinción privados se establecen a partir de la norma NFPA 24 vigente.

Se establecen 2 clases de tubería para el suministro de agua a los equipos del sistema de extinción húmedo de incendios.

10.14.6.1.6.1. Tubería aérea

- La tubería se estima entre DN25 y DN200, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido a que no se esperan riesgos corrosivos, la tubería será de tipo metálica, de preferencia acero al carbono ASTM A-53 SCH 40, pintada con pintura epóxica roja RAL3000 con base anticorrosiva de zinc.
- Los accesorios de la tubería serán metálicos, de preferencia hierro fundido ASTM A536 Gr. 65-45-12.
- La tubería y sus accesorios tendrán uniones ranuradas AWWA C-606 o roscadas NPT, de acuerdo a los elementos a conectar a ella.
- Toda la tubería debe estar soportada entre 3,7 y 4,6 m, dependiendo del diámetro. Los soportes serán estándares y de preferencia tipo pera (colgante), pedestal (piso) y correa corta (paredes).
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.

10.14.6.1.6.2. Tubería enterrada

- La tubería se estima entre DN110 y DN225, con una velocidad de diseño de 3 m/s.
- Debido al entorno corrosivo y a la conducción eléctrica, la tubería será de tipo polimérica, de preferencia polietileno de alta densidad (PEAD) ASTM D3261 PE100 SDR11, con protección UV en las entregas a los edificios.
- Los accesorios de la tubería serán de preferencia polietileno de alta densidad (PEAD) ASTM D3261 PE100 SDR11. Existen accesorios metálicos con uniones mecánicas aceptados para esta aplicación.
- La tubería y sus accesorios tendrán preferiblemente uniones termofundidas ASTM F2620.
- La tubería, accesorios y equipos deben estar listados y certificados UL y/o FM.
- La tubería de suministro de agua para sistemas contra incendio debe contar con un método de restricción de movimiento en los cambios de dirección. Este tipo de restricción puede estar dado por bloques de empuje, uniones de restricción, o métodos de unión específicos. Con respecto a los métodos de unión, las conexiones roscadas, ranuradas, soldadas, unidas por termofusión o químicamente, no requieren métodos de restricción adicionales, siempre que dichas conexiones pasen la prueba hidrostática. En este caso ya cumple por el tipo de unión y no requiere anclajes adicionales.

10.14.6.1.7. Protección con extintores portátiles

Los extintores portátiles son mandatorios dentro de cualquier tipo de construcción según la normativa NSR-10. Su instalación y ubicación se rigen por las normas NTC 2885 y NFPA 10.

Se listan las características de los extintores portátiles a continuación:

- Los extintores se deben distribuir, en general, en aquellos lugares en los cuales se estime que existe una mayor probabilidad de originarse un incendio.
- Los extintores se ubican de tal forma que el recorrido para alcanzarlos no supere:
 - 22,9 m para fuego tipo A (materiales ordinarios). Se prevé el uso de extintores tipo ABC de 20 lb polvo químico seco para atender este tipo de incendios.
 - 15,25 m para fuego tipo B-C (líquidos combustibles y materiales eléctricos). Se prevé el uso de extintores de CO2 de 15 lb para atender este tipo de incendios.
 - 9,1 m para fuego tipo K (aceites de cocina). Se prevé el uso de extintores tipo K de 2,5 gal para atender este tipo de incendios.
- Todos los extintores deben ser marcados y señalizados de acuerdo a NFPA.
- Los extintores no deben interrumpir la evacuación ni quedar en el borde interior de las esquinas.
- El borde inferior del extintor debe quedar a una altura sobre el suelo mayor a 0,102 m.
- La válvula del extintor debe quedar a una altura menor de 1,53 m.
- El extintor debe ser suministrado con soporte de pared o de piso, en posición siempre vertical.
- Los gabinetes que contienen extintores en su interior hacen parte de la distribución y protección con extintores portátiles de la zona.
- Actualmente no se tiene suficiente información para predimensionar la cantidad de extintores a utilizar.

10.14.6.1.8. Protección con agente limpio

Para la protección de áreas críticas que manejan información, comunicaciones, control y supervisión del lote, con equipos electrónicos importantes, se prevé la instalación de inundación total o local con agente limpio a partir de los lineamientos establecidos en la norma NFPA 2001.

A continuación se presentan las características de este sistema:

- El agente seleccionado para ser implementado en el sistema debe tener las siguientes características:
 - Alta estandarización, alta especificación técnica, estudios y registro que date de su seguridad como agente extintor y como sustancia química.
 - El mínimo efecto secundario inmediato, que permita la evacuación autónoma, evitando agentes congelantes, paralizantes, asfixiantes y/o que reduzcan la visibilidad, como el dióxido de carbono.
 - El mínimo efecto adverso en el medio ambiente, para la cantidad utilizada.
 - El mínimo impacto en la salud a largo plazo, capacidades físicas, cognitivas o psicológicas de las personas expuestas al agente.
- Se prefiere el uso de la cetona fluorada FK-5-1-12, la cual es incolora, inodora y no conductora, no afecta la capa de ozono y requiere una concentración mínima para extinción (<5%), por lo que su afectación en el oxígeno disponible es mínima, permitiendo ser implementada incluso en habitaciones con ocupación permanente.
- Para la protección de gabinetes individuales se prefiere el uso de tanques con mangueras sensibles al calor. Estas mangueras están llenas de agente limpio a presión y recorren el interior del gabinete, liberándolo sobre el punto de incendio mediante un agujero producido por el calor.
- Actualmente no se tiene suficiente información para predimensionar la cantidad de sistemas de agente limpio.

10.14.6.1.9. Anexos

Se adjuntan los anexos de Dimensionamiento del sistema en los siguientes archivos:

- L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-001.pdf
- L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-002.pdf
- L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-003.pdf

10.14.6.2 Ventilación y aire acondicionado

10.14.6.2.1 Descripción de los sistemas

Para el Patio Taller de la segunda línea del metro de Bogotá se preverán sistemas de ventilación que permitan renovar de manera continua el aire y controlar la temperatura en los edificios con el fin de mantener condiciones de calidad de aire aceptables para los usuarios y seguras para los equipos, en cada una de las áreas donde sea requerido.

De igual manera se preverán sistemas de aire acondicionado para las oficinas, áreas sociales y salas técnicas que albergan equipos informáticos o dispositivos electrónicos, que así lo requieran.

10.14.6.2.1.1. Áreas de locales técnicos

El diseño del sistema de ventilación del edificio de las áreas de locales técnicos y mantenimiento mayor y menor se realizará de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Se plantea el diseño de un sistema de ventilación central que permite la renovación de todo el volumen de aire con una frecuencia de una vez cada hora. El sistema constará de ventiladores de extracción de tipo centrífugo, ubicados en la cubierta del edificio y de rejillas de suministro de aire que se instalarán en las fachadas del mismo.
- Se diseñará un sistema de extracción independiente para los baños, de tal forma que se garantice que el aire de estas zonas no se mezcle con el del resto del edificio.
- Para los cuartos en los cuales se tengan transformadores o equipos eléctricos con disipación de calor significativa, se diseñarán sistemas de ventilación forzada que permitan la extracción del calor de estas zonas hacia el exterior, asumiendo un incremento de temperatura máximo de 15 °C, dado que estas áreas no contarán con ocupación permanente.
- Las zonas de oficinas y cuartos técnicos con características de ocupación bajas, de acuerdo con la norma NTC 5183, contarán con sistemas de ventilación forzada que garanticen la renovación del aire y la temperatura adecuada.

10.14.6.2.1.2. Edificio administrativo

Para el diseño del sistema de ventilación y aire acondicionado del edificio administrativo se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se diseñará el sistema de ventilación forzada para garantizar la renovación de aire al interior de las instalaciones, de acuerdo con el tipo de zona y la tasa de ocupación recomendada.
- Se realizará un cálculo de la carga térmica a disipar en cada una de las plantas del edificio, teniendo en cuenta la ocupación recomendada en la norma para este tipo de zonas, la disipación de equipos eléctricos, la carga solar transmitida a través de la fachada y la carga debida al flujo de aire exterior estimado para renovar el aire. Con la

carga térmica de enfriamiento requerida se seleccionará el sistema de aire acondicionado adecuado para la distribución de las zonas.

- Se diseñará un sistema de extracción independiente para los baños, vestidores y cuartos de basuras, de tal forma que se garantice que el aire de estas zonas no se mezcle con el del resto del edificio

10.14.6.2.2. Norma aplicable

Para los diseños serán tenidas en cuenta las recomendaciones y criterios aplicables de las siguientes normas y estándares:

- NSR 10 *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente.*
- NTC 5183 *Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores*
- ASHRAE 62.1 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.*
- ASHRAE *Handbook—Fundamentals*
- NFPA 130 *Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems 2014.*
- DIN 1946 *Ventilation and air conditioning*

10.14.6.2.3. Procedimiento de cálculo para dimensionamiento y selección de equipos

Se tomarán las dimensiones de cada uno de los recintos acondicionados, con el fin de determinar las superficies de muros, ventanas y cubiertas. De acuerdo con la localización del edificio se asignará la orientación de los muros y ventanas. Asimismo, se calculará el volumen de cada recinto con el fin de determinar los caudales de renovación y la carga térmica correspondiente. Por cada persona se define una carga de 55 W para calor sensible y una carga de 75 W para calor latente según la norma NTC 5183.

Posteriormente, para los locales de operación se realizará el cálculo del calor a ser removido en función de la ocupación de personas, cargas por equipos y radiación solar. A partir del calor a ser removido se estimará el caudal de aire requerido.

En paralelo se realizará el cálculo del caudal requerido para remover el calor producido por los equipos en los locales técnicos.

El caudal de diseño a establecer para los recintos se tomará como el valor mayor entre el caudal calculado según la NTC 5183 y el caudal estimado por el método de renovaciones por hora.

Se diseñará un sistema de extracción independiente para los baños, de tal forma que se garantice que el aire de estas zonas no se mezcle con el del resto del edificio.

Para los cuartos en los cuales se encuentren instalados transformadores o equipos eléctricos con disipación de calor significativa, se diseñarán sistemas de ventilación forzada que permitan la extracción del calor de estas zonas hacia el exterior, asumiendo un incremento de temperatura máximo de 15 °C, dado que estas áreas no contarán con ocupación permanente.

Para todos los recintos se realizará el cálculo del caudal de ventilación requerido por las normas NTC 5183 y ASHRAE 62.1 en función de la ocupación y el área. De esta manera se establecerá el caudal de ventilación total del sistema.

Finalmente se procederá con el dimensionamiento de los ductos y el estimativo de pérdidas, considerando un factor del 20 % adicional, respecto a la pérdida por longitud a lo largo del tramo de ducto menos favorable, para la pérdida por accesorios.

10.14.6.3 Sistema de aire comprimido

10.14.6.3.1. Descripción del sistema.

Para el Patio Taller de la L2MB se prevé un Sistema de Aire Comprimido para la operación de herramientas y equipos neumáticos requeridos para el mantenimiento de los trenes y operación de otros equipos del Patio Taller. Se realizará un inventario de los servicios que debe prestar el sistema, se identifican los equipos y herramientas a los que se debe suministrar aire comprimido, se identifican las condiciones requeridas de trabajo y las características que debe cumplir el flujo para la correcta operación del sistema. El caudal máximo previsible de la instalación se obtendrá por la sumatoria de los consumos individuales de cada usuario y se asignará un coeficiente de utilización. La sumatoria de los productos de los consumos específicos y el coeficiente de simultaneidad de la instalación determinará el caudal nominal del sistema en condiciones estándar. Teniendo en cuenta las prácticas de ingeniería en la industria de los Sistemas de Aire Comprimido se diseñará el sistema con un coeficiente de simultaneidad del 80%. Los requerimientos de presión de cada uno de los usuarios del sistema determinará los diferentes niveles de presión en los puntos de servicio y la presión a la salida de los compresores requeridos.

Para determinar la Calidad de Aire se seguirán los requerimientos de la norma ISO 8573-1 Especificaciones de Aire Comprimido. En la etapa del desarrollo de la Ingeniería de detalle se especificarán los equipos de cada uno de los subsistemas conforme al siguiente esquema conceptual.

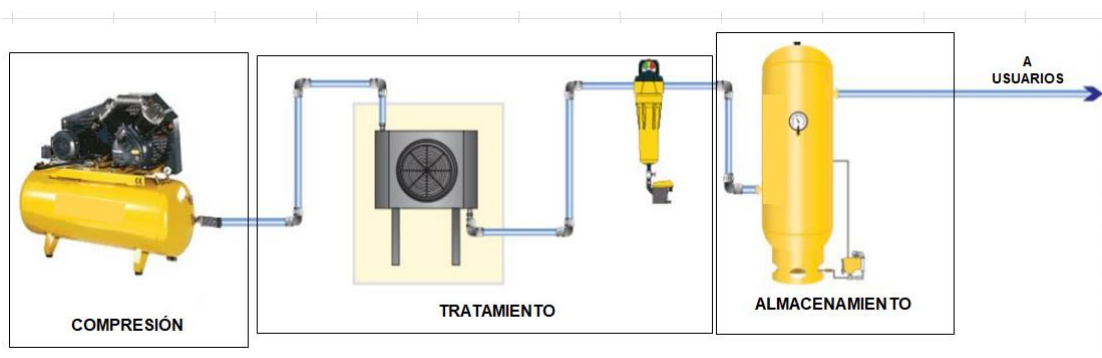


Figura 1. Esquema conceptual del sistema de aire comprimido

Para calcular el diámetro de las tuberías se determinarán las pérdidas de presión en la red principal, en la red de distribución, en la red de conexiones, en los equipos de tratamiento, en las unidades de mantenimiento y en las unidades de servicio. Teniendo en cuenta la literatura técnica se determinarán los diámetros de las tuberías de las diferentes redes para garantizar una velocidad máxima del fluido.

El sistema de compresión tendrá los siguientes componentes:

- Compresor de aire: Se seleccionarán compresores tipo tornillo rotativo o tipo pistón, de acuerdo a sus prestaciones técnicas y comerciales.
- Tanque de almacenamiento: Se seleccionarán tanques pulmón tipo vertical, metálicos de preferencia en material ASTM A283 Gr C, fabricado de acuerdo con ASME Sección VIII, división 1, u otra norma equivalente para la presión que determine la memoria de cálculo.
- Manómetro: Los manómetros están previstos para venir incluidos con el tanque de almacenamiento.
- Válvulas de alivio de presión: Las válvulas de alivio están previstas para venir incluidas con los tanques de almacenamiento.
- Válvulas de retención: Las válvulas de cheque están previstas para venir incluidas con el tanque de almacenamiento.
- Medidores de presión: Deben ser suministrados junto con los tanques y las líneas de tubería a supervisar.
- Filtros: Se usarán filtros del tipo coalescente, con certificación CAGI.
- Trampa de agua: Será incluido un sistema de tratamiento de condensados.
- Enfriador: Se usarán secadores-refrigerantes con separador de condensados y retención de agua.
- Tubería: Tubería metálica a prueba de fugas y protegida de daño mecánico y corrosivo.
- Válvulas de sectorización: Se usarán válvulas tipo bola de cierre manual.

10.14.6.3.2. Normatividad aplicable.

Para el diseño del Sistema de Aire Comprimido del Patio Taller se emplearán las siguientes normas:

- International Organization for Standardization ISO 8573-1. ISO 1217
- American Society of Mechanical Engineers ASME Section VIII Div. 1. Boiler & Pressure Vessel Code
- American Society of Mechanical Engineers ASME Section IX. QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATORS
- American Society of Mechanical Engineers ASME B31.10 WELDED AND SEAMLESS WROUGHT STEEL PIPE
- American Society for Testing and Materials ASTM 241.1, normas de materiales ASTM y normas de ensayos.
- Norma ISO 8573-1(2010) para definir la calidad de aire requerida en la instalación.
- CAGI - COMPRESSED AIR AND GAS INSTITUTE. Compressed Air and Gas Handbook.
- ISO 5941 Compressors, Pneumatic Tools and Machines-Preferred Pressures

10.14.6.3.3. Consideraciones del diseño

A continuación se presentan las consideraciones de diseño para el Sistema de Aire Comprimido del Patio Taller:

- Se tomará aire a condiciones ambientales del sitio del proyecto, asumiendo la temperatura máxima que representa el punto crítico de densidad de aire.
- El aire húmedo será comprimido mediante un proceso adiabático, incrementando su temperatura directamente proporcional con el aumento de presión.
- El aire será enfriado y secado parcialmente a la salida del compresor por medio de un equipo diseñado para tal fin, llevándolo a temperatura ambiente sin cambiar su presión.
- El aire será secado adicionalmente mediante filtros para lograr una mejor calidad del aire.
- El aire secado será almacenado en dos tanques de almacenamiento tipo pulmón.
- Se especificarán compresores de respaldo y cada compresor será calculado para abastecer a todos los usuarios del sistema.

- Un solo compresor debe ser capaz de abastecer los tanques pulmón a razón de no más de 6 encendidas del compresor por hora.
- Los tanques de almacenamiento tipo pulmón podrán operar en ausencia de energía eléctrica.
- Las tuberías serán diseñadas con una velocidad de referencia del orden de 8,0 m/s.

Una vez establecidas las consideraciones y obtenida la información de los requerimientos de consumo de Aire Comprimido se desarrollará el procedimiento de cálculo para el dimensionamiento y selección de equipos.

10.14.6.4 Sistemas de bombeo

. En el presente aparte se aborda la exposición de los sistemas de bombeo que típicamente son requeridos para atender los requerimientos de agua en el Patio-Taller y para optimizar la disposición y reutilización de los efluentes que resultan de las diferentes actividades previstas en la infraestructura de esta parte de la obra.

En el esquema L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-005 del Anexo se presenta un diagrama unifilar en donde se muestran los sistemas de bombeo que a priori y antes de tener una definición precisa del aprovechamiento del agua destinada para lavado en las instalaciones del Patio Taller de la segunda línea del metro de Bogotá, es factible que se prevean para la optimización del consumo de todas las fuentes posibles de agua para dicho propósito y obviamente para disponer también del agua potable y de otros usos . En total se tienen cinco tipos de fluidos a manejar para la correcta operación del Patio Taller. Es un sistema que busca una operación eficiente en donde se pueda aprovechar la mayor cantidad de aguas pluviales para la operación normal. Así como el sistema está diseñado para tener una alta eficiencia hídrica y lograr un vertimiento de agua mínimo y con una calidad aceptable para la normatividad aplicable. A continuación se hace una explicación de cada uno de los sistemas de bombeo que se prevé puedan estar involucrados.

10.14.6.4.1 Descripción de los sistemas

10.14.6.4.1.1 Bombeo de agua potable

Para el Patio Taller de la segunda línea del metro de Bogotá se prevé la necesidad de agua potable con el fin de suplir los requerimientos de los servicios de saneamiento e higiene adecuados en cada una de las áreas donde sea requerido.

El patio taller está compuesto por cuatro edificios principales que son:

- Edificio de locales técnicos
- Edificio de mantenimiento mayor y menor
- Edificio administrativo
- Cocheras

El diseño planteado tiene las siguientes características:

- El agua potable proviene de un tanque de almacenamiento que está por definirse, el cual se alimentara del punto de acometida suministrado por la EAB
- A partir del tanque de almacenamiento de agua potable del patio taller sale una red principal la cual distribuye a cada una de las zonas requeridas.
- La información del caudal de diseño de la red de distribución se determina a partir del consumo promedio de cada uno de los aparatos sanitarios de los edificios proyectados.
- Se tiene previsto la instalación de un sistema hidroneumático cuya presurización se realizará con tres bombas dos de las cuales tendrán la capacidad para atender el 50% de la demanda y por lo cual una estará en reserva en caso de falla de alguna de las otras dos. Para un desgaste similar de las bombas se tiene una alternancia de operación entre ellas. El punto de operación se seleccionará en conformidad con el estimativo de pérdidas de las

tubería de distribución que se diseñará conforme lo expuesto en las secciones correspondientes de la red hidrosanitaria . En el esquema L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-007 se encuentra la disposición típica del equipo que se tiene contemplado para este propósito, cuyas características específicas se confirmarán una vez se tenga confirmada la demanda de agua potable.

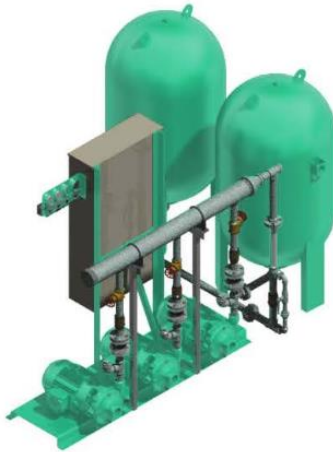


Figura 2. Esquema del sistema de bombeo de agua potable con hidroacumuladores

10.14.6.4.1.2 Bombeo de aguas residuales

Las aguas residuales del patio taller se dividen en dos tipos, aguas negras y aguas aceitosas. A continuación se presentan ambos sistemas de bombeo

- **Bombeo de aguas negras**

La red de drenaje de aguas residuales corresponde al sistema de evacuación de las aguas negras de los aparatos sanitarios de los edificios del Patio Taller que hace parte de la segunda línea del metro de Bogotá. Es importante tener en cuenta que las aguas negras son las provenientes de los sanitarios, orinales, duchas, sifones de piso, lavamanos, lavaplatos y pocetas de aseo. El diseño planteado tiene las siguientes consideraciones.

- Las aguas negras son dirigidas a un pozo de inspección de alcantarillado sanitario de la EAB.
- La información del caudal de aguas negras se determina a partir del consumo promedio.
- En caso de ser necesario un sistema de bombeo para llevar las bombas hasta el pozo de inspección de alcantarillado sanitario se contará con dos bombas del 100% del caudal que se defina en el diseño detallado, una principal en operación y otra en reserva, cuya disposición típica se muestra en el esquema L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-008 del anexo correspondiente al sistema de bombeo. .

Existe la posibilidad de la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales grises, lo cual se definirá en la Fase 3 del estudio. En ese caso la descarga del equipo se conectará al sistema de tratamiento seleccionado. Si se acoge esta opción, normalmente es necesario prever un proceso de desarenación, por lo cual en la disposición típica mostrada se ilustra dicha previsión,

- Bombeo de aguas aceitosas

Durante la operación del Patio Taller de la segunda línea del metro de Bogotá se debe tener en cuenta que las tareas de mantenimiento y limpieza pueden dar lugar a la presencia de aguas aceitosas que se recogen en los sistemas de drenaje que deben de ser tratadas para retirar la sustancias que le dan este carácter, previamente a su mezcla en los pozos y redes de aguas grises. Debido a esto es necesario diseñar y posteriormente implementar un plan de manejo y tratamiento de estas aguas aceitosas. El objetivo de este sistema es remover el aceite y así obtener un agua cumpla con las normas establecidas para su vertimiento. Se tienen en cuenta las siguientes consideraciones para el manejo de estas aguas:

- Se realiza un análisis para identificar los puntos de desagüe de aguas aceitosas del Patio Taller. El objetivo es dirigir todas las aguas aceitosas a un tanque que cumpla la normatividad API o normas similar
- Las aguas aceitosas deben ser tratadas con un Separador de aceite API o similar.
-
- La capacidad del sistema se basa en la frecuencia de limpieza y mantenimiento que genera aguas aceitosas.
- Posterior al tratamiento de las aguas aceitosas son llevadas bien al pozo de inspección de alcantarillado sanitario de la EAB, bien al punto de bombeo de las aguas negras o de agua residual para entrar en el sistema de aguas residuales, si se implementa esta opción..

En su momento se evaluará la necesidad de disponer de un sistema de bombeo para la conducción del agua proveniente de este proceso hasta la estructura a la que finalmente se defina que será llevada.

10.14.6.4.1.3 Bombeo de agua de servicio

Para el correcto mantenimiento y limpieza de los trenes dentro del Patio Taller es necesario tener un suministro de agua de servicio. Para un correcto dimensionamiento del sistema y selección de los equipos requeridos se tienen las siguientes consideraciones de diseño:

- Inicialmente es necesario identificar los procesos de mantenimiento que requieren agua de servicio. Para cada uno de los procesos se define la frecuencia, calidad de agua, caudal y presión requerida.
- A partir de la definición de la máquina de lavado ubicada en la vía de lavado de trenes, así como la frecuencia de operación se tiene el caudal y presión que va a requerirse para la limpieza exterior de los trenes. La frecuencia de operación debe de estar acorde con el aumento de la flota a largo plazo.
- Se definen la disposición de las vías de limpieza complementaria dentro y fuera de los trenes y se evalúa la posibilidad de que estén ubicadas dentro de la cochera. Así mismo se define la frecuencia esperada de esta limpieza
- Se seleccionan los hidroequipos necesarios para la limpieza complementaria dentro y fuera de los trenes. A partir de esto se tienen los caudales y presiones requeridas para la correcta operación.
- Tomando en consideración experiencias anteriores de la primera línea de metro, se define el volumen de agua requerido para la limpieza sin equipos.
- El suministro de agua de servicio para el Patio Taller será a partir de aguas pluviales, previamente tratadas para cumplir con la calidad requerida. En caso de no tener el caudal requerido se evalúan estrategias de eficiencia hídrica. Igualmente se cuenta con un sistema de respaldo a partir de una acometida de la EAB.
- En el tanque de agua tratada que será la estructura donde se recogen las aguas de diferentes fuentes sometidas al correspondiente proceso de tratamiento, se contará con dos equipos con una capacidad de aportar el 100% del caudal, con lo cual uno de estos estará en reserva en caso de falla. Para un desgaste similar se tiene una alternancia de operación entre los sistemas.

En el esquema L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-009 se ilustra la disposición típica de los equipos de bombeo para este propósito. Para estos sistemas de bombeo se plantea el uso de bombas sumergibles o eventualmente bombas centrífugas horizontales o de eje vertical según las posibilidades que ofrezca la disposición arquitectónica y de obra civil de las estructuras y los análisis del CAPEX y OPEX de las tres opciones.



Figura 3. Bomba sumergible

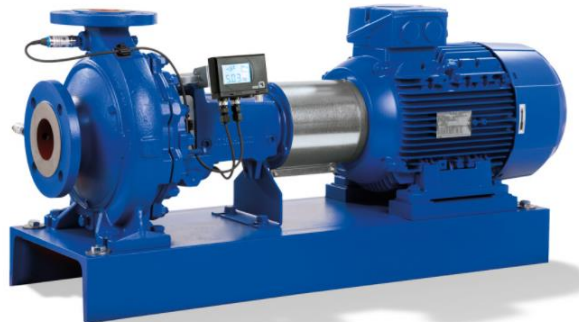


Figura 4. Bomba centrífuga horizontal

10.14.6.4.1.4 Bombeo de agua pluviales y drenajes

El manejo de las aguas pluviales dentro del Patio Taller se hará siguiendo los criterios expuestos en el numeral 10.14.4.1.: “Redes de drenaje” del documento, incluido en el archivo 10.14.4 Patio- Taller. Redes-Drenajes.

Igualmente de acuerdo con lo expuesto en el subnumeral 10.14.4.1.6 “Redes de alcantarillado de aguas recirculadas y residuales industriales” se tiene previsto el aprovechamiento de las aguas lluvias para el agua de lavado de trenes. Una vez se disponga del agua lluvia con las características adecuadas para ser usada como agua de servicio, esta debe ser conducida a una estructura de compensación, desde la cual será impulsada por bombas dispuestas según la disposición típica mostrada en el esquema L2MB-1500-100-MOV-DP-MEC-EQ-006, hasta el tanque de agua tratada.

10.14.6.4.2 Normativa aplicable

- NTC-1500 – Código Colombiano de Fontanería.
- NS-128 (v. 2009) Lineamientos Generales para Diseño y Construcción de Instalaciones Hidrosanitarias Internas y Sistemas Contra - Incendio.
- RAS Título B Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – Título B.
- American Society of Mechanical Engineers – ASME.
 - Selección de válvulas: ASME B16.34.
 - Selección de bombas: ASME B73.1
 - Tuberías: ASME B31
- American National Standards Institute – ANSI.
 - Codos: ASME/ANSI B16.28.
 - Bridas: ASME/ANSI B16.5/47.
 - Empaques: ANSI/ASME B16.20-1998
 - Diseño de Bombas: ANSI/HI 1.3-2009.
- American Water Works Association – AWWA.
 - Diseño de tubería de acero: AWWA M-11
 - Diseño de tubería de polietileno: AWWA M-55
 - Tubería de PVC: AWWA C-900
 - Tubería de polietileno: AWWA C-906
- National Association of Corrosion Engineers – NACE.
 - Corrosión interna de tubería de acero: SP106-2006.
 - Corrosión externa de tubería de acero enterrada o sumergida: SP169-2007.

10.14.6.4.3 Procedimiento de cálculo para dimensionamiento y selección de equipos

En primer lugar, el diámetro de la tubería se obtiene al definir una velocidad máxima de 3 m/s en la tubería teniendo en cuenta el caudal requerido. Seguido a esto, se calculan las pérdidas en las tuberías y accesorios según el trazado de la misma.

Seguido a esto, se calcula la cabeza total dinámica (TDH) sumando la altura estática y las pérdidas totales a lo largo de la tubería. El TDH junto con el caudal requerido se usan como datos de entrada para seleccionar una bomba que pueda suplir la presión y el caudal. El tipo de bomba se selecciona según los requerimientos arquitectónicos, de operación y de mantenimiento.

El punto de operación de la bomba se determina con la intersección de la curva del sistema y la curva de catálogo cuya presión esté por encima del TDH calculado. Obtenido el punto de operación, se determina la potencia requerida por la bomba y la cabeza de neta de succión positiva requerida por la bomba (NPSHr). Luego, se verifica que el NPSHr sea menor al NPSHa (cabeza neta de succión positiva disponible)

Adicionalmente, la soportería de la tubería se diseña teniendo en cuenta las fuerzas que se desarrollan en los accesorios debido al movimiento del fluido de trabajo.



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

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

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



CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|--|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | Se incorpora el capítulo en el Anexo A - Sección 10 | Observaciones del ministerio de transporte |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

| |
|-----------------------------|
| J. C. Pantoja 18-05-2022 |
| Director de estructuración |

REVISIÓN Y APROBACIÓN

| | | | |
|---|---------------------------------------|---|---|
| Revisó: J. Aranguren 05-05-2022 | Revisó: G. Gómez 05-05-2022 | Revisó: D. Rebolledo 05-05-2022 | Aprobó: F. Sanchez 05-05-2022 |
| VoBo. Ingeniero Ejecutor | VoBo. Director de Departamento | VoBo. Director de División | VoBo. Director de Proyecto |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----------|
| A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ... | 5 |
| 10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ... | 5 |
| 10.14 PATIOS Y TALLERES | 5 |
| 10.14.7 Redes eléctricas | 5 |
| 10.14.7.1 Generalidades | 5 |
| 10.14.7.2 Normatividad | 6 |
| 10.14.7.3 Áreas | 7 |
| 10.14.7.4 Cargas | 8 |
| 10.14.7.4.1 Aspectos básicos para el dimensionamiento | 8 |
| 10.14.7.4.2 Criterios de diseño | 8 |
| 10.14.7.4.2.1 Generalidades | 8 |
| 10.14.7.4.2.2 Fuentes de alimentación de energía eléctrica | 8 |
| 10.14.7.4.2.3 Subestaciones, CTE | 10 |
| 10.14.7.4.2.4 Conductores eléctricos | 11 |
| 10.14.7.4.2.5 Sistema de puesta a tierra. SPT | 12 |
| 10.14.7.4.2.6 Regulación de tensión | 12 |
| 10.14.7.4.2.7 Iluminación | 13 |
| 10.14.7.4.2.8 Iluminación de emergencia | 14 |
| 10.14.7.4.3 Especificaciones técnicas | 14 |
| 10.14.7.4.3.1 Celdas de media tensión | 14 |
| 10.14.7.4.3.2 Transformadores de distribución de media tensión | 15 |
| 10.14.7.4.3.3 Tableros de distribución en baja tensión | 16 |
| 10.14.7.4.3.4 Medidores de energía | 16 |
| 10.14.7.4.3.5 Especificaciones técnicas de materiales eléctricos | 16 |

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Áreas del Patio y Taller

Tabla 2. Carga eléctrica del Patio Taller

Tabla 3. Niveles mínimos, deslumbramiento y uniformidad según el uso de las áreas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conexión de 2 circuitos 115 kV a los transformadores de potencia de 40 MVA

Figura 2. Esquema de la configuración base de anillos de MT

Figura 3. Modos de operación de las SER

Figura 4. Típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 1

Figura 5. Típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 2

A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...

10. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...

10.14 PATIOS Y TALLERES

10.14.7 Redes eléctricas

10.14.7.1 Generalidades

El presente documento contiene los criterios y parámetros de diseño que se tienen en cuenta en la elaboración de los estudios de factibilidad del Patio Taller del proyecto para lo cual se aplicarán las normas y especificaciones vigentes, se partirá de la definición arquitectónica y el diseño estructural para continuar con la definición de las cargas de los equipos y tableros eléctricos y los diferentes elementos que conforman el sistema eléctrico, se continuará con la localización de los equipos y definición de las rutas las canalizaciones para el tendido del cableado eléctrico de alimentación de los equipos, esta actividad se realizará de manera coordinada con las demás especialidades con el fin de evitar que se presenten interferencias entre los diferentes sistemas MEP. Todos los diseños se realizan dando cumplimiento al RETIE en los aspectos relativos a memorias de cálculo y especificaciones técnicas. dentro de los diseños se dará especial énfasis en el uso eficiente de energía mediante la utilización de luminarias tipo LED, control de iluminación para optimizar el consumo de energía, uso de escaleras mecánicas, todos los equipos deben tener certificado de bajo consumo (Exceptuando los equipos en los que no exista esta certificación en el mercado). Para que las edificaciones sean sustentables energéticamente se dispondrá de sistemas fotovoltaicos donde sean viables

El sistema eléctrico del Patio Taller debe contemplar:

- Localización de subestación de alta tensión 115 kV/34,5 kV compartida con Enel
- Distribución eléctrica en media tensión para subestaciones de tracción mediante las SET (Subestaciones de tracción)
- Distribución eléctrica en media y baja tensión para todas las edificaciones del Patio Taller mediante las CTE (Centros de transformación de energía)
- Iluminación normal interior, exterior y de emergencia para las edificaciones del Patio Taller.
- Sistema de puesta a tierra.
- Sistema de apantallamiento contra rayos
- Sistemas de respaldo de energía eléctrica.

Con este producto de diseño a nivel de factibilidad, servirá como base para poder licitar la construcción de las obras eléctricas del Patio Taller.

Hay dos subestaciones receptoras, SER, 115/34,5 kV, la primera ubicada cerca a la subestación La Castellana ubicada en la Autopista norte por calle 91 que será validada por el Operador de Red.

La segunda SER está ubicada en el Patio Taller. La Subestación más cercana a este SER, es la subestación Tibabuyes, que será validada por el Operador de Red.

La subestación SER redundante ubicada en Patios Talleres, compartida con Codensa, incluye básicamente:

- Conexión a 2 circuitos 115 KV, aéreos, independientes
- Equipos de maniobra alta tensión encapsulado GIS
- Dos Transformadores de poder de 40 MVA 115/34,5 KV
- Cada transformador con un interruptor general MT y 2 alimentadores a los anillos de 34,5 KV de la línea
- 4 Transformadores 100 KVA de servicios auxiliares (2 redundantes por semi barra)
- Equipos de control, protección y respaldo auxiliares redundantes
- Scada Energía
- Superficie Requerida: 3600 m2 (para Codensa y Metro Bogotá)
- Canalización MT por Multiductos hasta enlace Vías Principales
- Filtros de Armónicas y Compensador Reactivos SVC

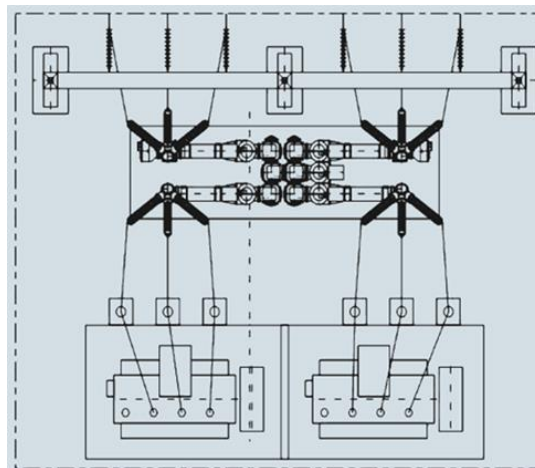


Figura 1. Conexión de 2 circuitos 115 KV a los transformadores de potencia de 40 MVA

10.14.7.2 Normatividad

El componente eléctrico del Patio Taller de la L2MB se diseñará de acuerdo con las normas internacionales en sus últimas versiones, así como toda la normativa de carácter nacional y local que aplique, incluyendo las referentes a temas urbanísticos, ambientales y estructurales.

Normatividad nacional:

- RETIE: Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Se tendrá en cuenta en los diseños de instalaciones eléctricas en los aspectos de selección de equipos, distancias de seguridad, puesta a tierra y seguridad de las instalaciones para proteger la vida humana, animal y vegetal.
- RETILAP: Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. Se tendrá en cuenta para los diseños de iluminación de áreas exteriores e interiores,
- NTC 2050: Código Eléctrico Colombiano. Se tendrá en cuenta en los diseños de las redes e instalaciones eléctricas.

- NTC 4552: Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos). Se tendrá en cuenta en los estudios de apantallamiento y protección contra rayos.
- Normatividad operador de red Enel - Codensa SA ESP. Se tendrá en cuenta en los diseños de redes de distribución de alta, media y baja tensión y alumbrado público.

Normatividad internacional:

- NFPA 502-2014 “Standard for road tunnels, bridges, and other limited access highways”.
- NFPA 110 “Norma para Sistemas de Energía de Reserva y de Emergencia”.
- NFPA 130 “Norma para sistemas de tránsito sobre rieles fijos y sistemas de transporte ferroviario de pasajeros”. Versión 2020.
- NFPA 101 “Código de seguridad humana - Life Safety Code”. Versión 2021.
- EU Normas de la Unión Europea
- IEC-88: Guía para iluminación de carreteras y pasos inferiores.
- NFPA 70 National Electrical Code edición 2020.
- IES “Illuminating Engineering Society” Standards documents.

10.14.7.3 Áreas

Las áreas definidas para las edificaciones correspondientes al Patio Taller de la L2MB se definen a continuación:

Tabla 1. Áreas del Patio y Taller

| Nombre de la Edificación | Área [m2] |
|--|-----------|
| Cochera | 30.000 |
| Vía de lavado intensivo | 1.400 |
| Torno de foso | 700 |
| Taller de mantenimiento menor | 6.000 |
| Taller de mantenimiento mayor | 18.000 |
| Taller de mantenimiento de las infraestructuras | 6.100 |
| Máquina de lavado | 560 |
| Almacén | 1.500 |
| Administración | 700 |
| Otros locales técnicos: <ul style="list-style-type: none"> - Tanque de Agua~ 500m2 - Planta de Tratamiento ~ 1 000m2 - Subestación de Tracción y Centro de Transformación ~ 650 m2 - Estación de Servicio ~ 50 m2 | 6.000 |

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

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

- Estacionamiento ~ 3 600m²

Fuente: L2MB - E4 - Aval Técnico y Fiscal - Realizado por Systra.

10.14.7.4 Cargas

10.14.7.4.1 Aspectos básicos para el dimensionamiento

Inicialmente se ha definido la carga de acuerdo con la estimación realizada en el estudio de factibilidad.

La carga total definida para el Patio Taller es la siguiente:

Tabla 2. Carga eléctrica del Patio Taller

| Nombre de la Edificación | Carga [kVA] |
|--------------------------|-------------|
| Patio Taller | 2.500 |

Fuente: Estudio de factibilidad documento “Requisitos Técnicos, sección 14 Alimentación eléctrica”

10.14.7.4.2 Criterios de diseño

10.14.7.4.2.1 Generalidades

El presente documento contiene los criterios y parámetros de diseño que se tienen en cuenta en la elaboración de los estudios de factibilidad de las edificaciones del proyecto para lo cual se aplicarán las normas y especificaciones vigentes, se partirá de la definición arquitectónica y el diseño estructural para continuar con la definición de las cargas de los equipos y tableros eléctricos y los diferentes elementos que conforman el sistema eléctrico, se continuará con la localización de los equipos y definición de las rutas las canalizaciones para el tendido del cableado eléctrico de alimentación de los equipos, esta actividad se realizará de manera coordinada con las demás especialidades con el fin de evitar que se presenten interferencias entre los diferentes sistemas MEP. Todos los diseños se realizan dando cumplimiento al RETIE en los aspectos relativos a memorias de cálculo y especificaciones técnicas. dentro de los diseños se dará especial énfasis en el uso eficiente de energía mediante la utilización de luminarias tipo LED, control de iluminación para optimizar el consumo de energía, uso de escaleras mecánicas, todos los equipos deben tener certificado de bajo consumo (Exceptuando los equipos en los que no exista ésta certificación en el mercado). Para que las edificaciones sean sustentables energéticamente se dispondrá de sistemas fotovoltaicos donde sean viables.

10.14.7.4.2.2 Fuentes de alimentación de energía eléctrica

La alimentación de las cargas se hará de la siguiente manera:

- Condiciones normales: Alimentación desde la red pública.
- Condiciones de emergencia: Alimentación desde la red pública, circuito 2 a 34,5 kV, mediante CT redundante.

La Distribución de Media Tensión, se realizará en 34,5 kV a través de alimentadores conectados a las dos SER. Los alimentadores de MT proporcionan energía a las Subestaciones de Tracción (SET) y a los Centros de Transformación de Energía (CT).

La distribución de MT se configura mediante 2 anillos, donde cada anillo está conectado con las SER Castellana y SER Talleres, esta última SER es doble.

La configuración en anillos de distribución entrega la alimentación en energía a los CTE en cada una de las estaciones y de las SET en las estaciones que está proyectado por diseño para la alimentación de tracción.

El disponer de la configuración de 2 anillos a lo largo de la línea proporciona la seguridad de alimentación en modo normal, como también en modo degradado.

En el modo normal cada alimentador que proviene de la SER está definido para entregar energía a una cierta cantidad de CT y SET, de tal forma que los niveles de cargas sean equivalentes para cada alimentador, no obstante, en caso de falla de algún elemento, estas se pueden reconfigurar a través de los interruptores que tienen las barras colectoras.

De acuerdo con lo anterior, cada anillo MT deberá alimentar las SET y los CTE de tal manera que, en caso de que se presenten dos equipos defectuosos (modo N-2), en cualquier parte de la red de MT, las SET y los CTE alimenten todas las cargas en condiciones normales.

Las barras colectoras deben ser comunes para la alimentación de los CTE y SET, con un interruptor (Circuit-breaker) para la llegada y el otro para la salida del anillo de MT.

A continuación, se presenta un esquema de la configuración base de anillos de MT.

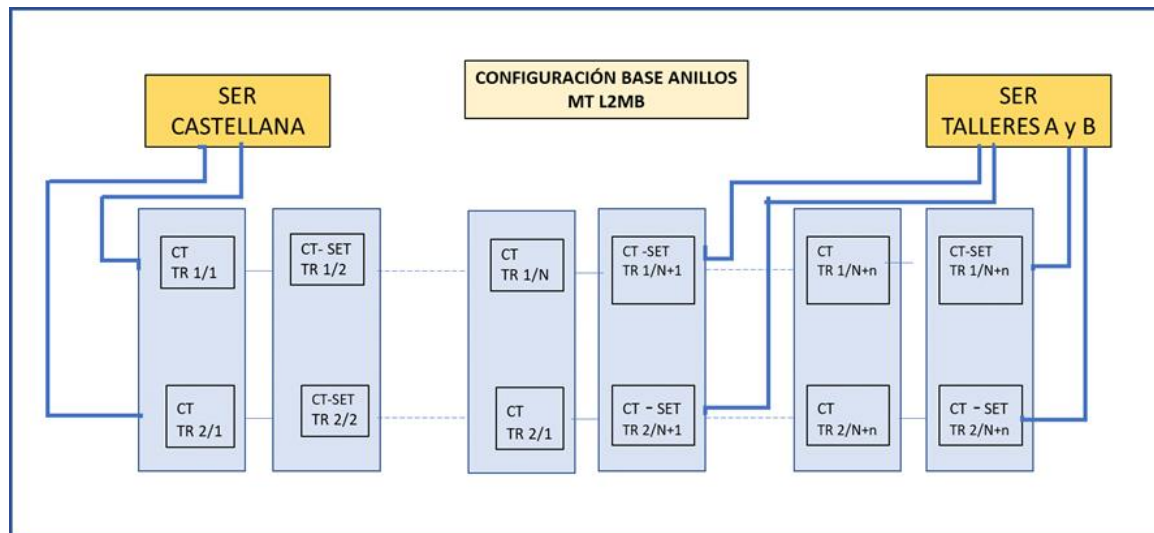


Figura 2. Esquema de la configuración base de anillos de MT

En modo normal, cada anillo debe alimentar la línea desde la SER La Castellana (Simple) y SER Talleres (Doble), en bucle abierto.

En modo degradado, los anillos deben alimentar la línea desde uno de los alimentadores de la SER y el otro de la SER La Castellana o desde una sola SER, según el nivel de falla que se haya producido.

La siguiente tabla presenta los modos de operación de las SER, frente a las diferentes situaciones de fuera de servicio que se pueden presentar en cada una de ellas.

| MODO | SER Fuera de Servicio | SER TALLERES | | SER CASTELLANA |
|--------|--------------------------------|--------------|------|----------------|
| | | TR-A | TR-B | TR |
| NORMAL | Ninguna | X | X | X |
| N-1 | SER Tall TR-A | | X | X |
| | SER Tall TR-B | X | | X |
| | SER Castellana | X | X | |
| N-2 | SER Talleres TR A y B | | | X |
| | SER Tall TR-A y Castellana | | X | |
| | SER Talleres TR-B y Castellana | X | | |

Figura 3. Modos de operación de las SER

Para las cargas críticas como data center, equipos de seguridad y otras que no admitan interrupción, se alimentarán desde dos (2) UPS trifásicas, redundantes entre sí, conectadas en una configuración en que las unidades puedan soportar las cargas críticas al mismo tiempo siendo cada una capaz de soportar toda la carga crítica. La autonomía total será de al menos cuatro (4) horas (2+2).

10.14.7.4.2.3 Subestaciones, CTE

Para la Alimentación Alumbrado y Fuerza Estaciones, Túnel y Talleres, en cada estación existirán 2 Centros de Transformación (CT), cada uno conectado a un anillo diferente de media tensión. Cada CT estará conformado por un transformador de distribución 34,5/0,208 KV para la alimentación de los consumos de baja tensión de la estación.

La capacidad de cada uno de los transformadores de los C deberá ser capaz de asumir toda la carga del otro transformador de forma permanente.

A nivel de baja tensión (0,208 kV) se contempla una barra de consumos críticos que puede ser alimentada por uno u otro transformador, mediante un dispositivo de transferencia automática

Se adoptarán lo siguientes lineamientos en los diseños de las subestaciones que se deban diseñar por requerimiento de carga:

Subestaciones tipo encapsulado para uso interior con transformadores secos clase F.

Las protecciones de los transformadores contra corto-circuito serán fusibles en el lado de media tensión e interruptores de caja moldeada en el lado de baja tensión.

En la siguiente figura se presenta un típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 1:

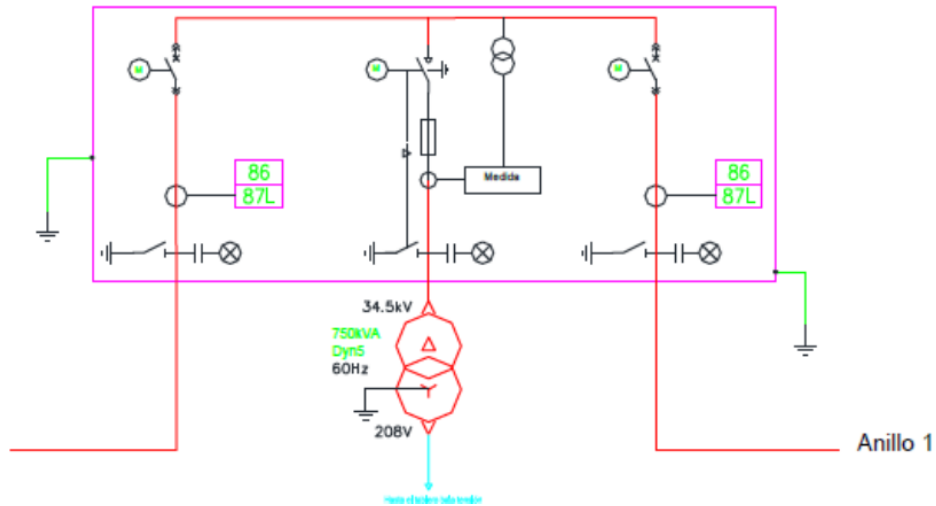


Figura 4. Típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 1

En la siguiente figura se presenta un típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 2:

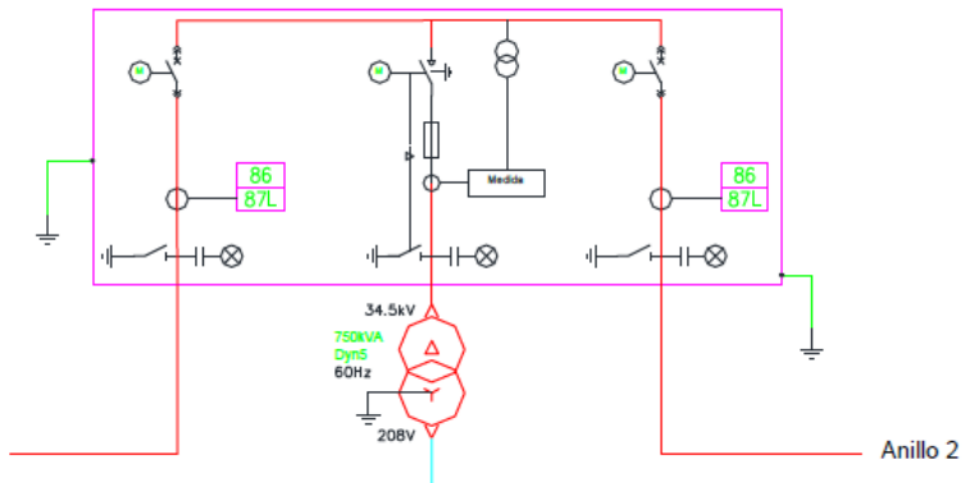


Figura 5. Típico de subestación encapsulada CT alimentado por el anillo 2

10.14.7.4.2.4 Conductores eléctricos

Se adoptarán lo siguientes lineamientos en la selección de la clase de los conductores eléctricos:

En redes interiores de baja tensión se utilizarán conductores aislados monopolares de cobre aislamiento THHW o THHN 90° C; 600 V, o si se presenta alta concentración de personas se deberá utilizar cables con bajo contenido de halógenos, no propagadores de llama y baja emisión de humos opacos, HFFR.

Para las redes subterráneas de media tensión se utilizarán conductores XLPE, aislados a 15 kV o 35 kV.

Para las redes subterráneas de baja tensión se utilizarán conductores de cobre con aislamiento THHW 90° C.

10.14.7.4.2.5 Sistema de puesta a tierra. SPT

Para elaborar el diseño del sistema de puesta a tierra se aplicarán los requerimientos establecidos en el RETIE artículo 15 “SISTEMA DE PUESTA A TIERRA”, que indica “...para evitar que personas en contacto con la misma, tanto en el interior como en el exterior, queden sometidas a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla.” Igualmente se considerarán los requerimientos establecidos en las normas del Operador de Red.

La malla de puesta a tierra se diseñará en cable de cobre desnudo. Las conexiones de los cables de la malla serán soldadas exotérmicamente, y se dispondrá de platinas de cobre en los recintos de las subestaciones, tableros y en general donde se requiera para equipotencializar el sistema. El sistema de puesta a tierra de cada sistema deberá ir conectado a la puesta a tierra principal del sistema férreo, es decir al conductor de tierra que se extenderá a lo largo del trazado férreo y que incluye la interconexión del sistema de catenarias, rieles, puertas de acceso al patio taller. Las conexiones de los conductores a las platinas se realizarán mediante terminales y conexiones pearnadas.

Todos los sistemas de puesta a tierra deberán estar interconectados entre sí de acuerdo con lo establecido en el artículo 15.1 del RETIE “REQUISITOS GENERALES DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA” numeral e).

El diseño del Sistema Integral de Protección contra Rayos – SIPRA se realizará tomando como referencia la norma técnica colombiana NTC 4552 – “Protección contra descargas eléctricas atmosféricas”.

Cada alimentador llevará un conductor de continuidad de puesta a tierra desde la platina del tablero general, tablero de distribución hasta los terminales de conexión a tierra de los equipos o tableros secundarios.

En los tableros de distribución principales se instalarán dispositivos de protección contra sobretensiones – DPS.

10.14.7.4.2.6 Regulación de tensión

El dimensionamiento de cables y transformadores será tal que las tensiones en los sitios de utilización sean los adecuados para las cargas por alimentar. Desde bornes de transformador hasta los tableros de distribución se limitará la caída de tensión a un valor de 2% y desde el tablero de distribución hasta la carga más alejada será del 3%, para una caída máxima de tensión del 5%.

10.14.7.4.2.7 Iluminación

El diseño de iluminación del Patio Taller, se elaborará de acuerdo con las siguientes normas técnicas en su versión vigente:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE - 2013.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano - 2017.
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público – RETILAP - 2010.
- Illuminating Engineering Society THE LIGHTING HANDBOOK
- UNE-EN 12464-1 Norma europea
- CIE 97

La selección de la tecnología para las luminarias del Patio Taller y oficinas es LED.

Los niveles de iluminación están basados en la norma Colombiana RETILAP “Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público” la cual estipula niveles mínimos, deslumbramiento y uniformidad según el uso de las áreas:

Tabla 3. Niveles mínimos, deslumbramiento y uniformidad según el uso de las áreas

| Tipo de Interior, tarea y actividad | Iluminancia [lx] | Deslumbramiento UGR | Uniformidad Uo |
|-------------------------------------|------------------|---------------------|----------------|
| Almacenes, bodegas. | 150 | 25 | 0,50 |
| Parqueaderos | 20 | - | 0,4 |
| Muelle de carga | 20 | - | 0,25 |
| Oficinas cerradas | 500 | 19 | 0,50 |
| Oficinas abiertas | 750 | 19 | 0,50 |
| Sala de reuniones | 200 | 19 | 0,50 |
| Baños | 150 | 25 | 0,50 |
| Escaleras | 150 | 25 | 0,50 |
| Enfermería | 500 | 19 | 0,50 |
| CCTV | 300 | 22 | 0,50 |
| Data Center | 300 | 22 | 0,50 |
| Recepción | 300 | 22 | 0,50 |
| Área de circulación y pasillos | 100 | 28 | 0,50 |
| Cuarto de baterías | 300 | 22 | 0,50 |

Fuente: Tomada y adaptada del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público. RETILAP

Cuando el área de uso no se indique en el RETILAP, se debe buscar en normas internacionales como la Illuminating Engineering Society.

La iluminación de emergencia debe cumplir con los siguientes requisitos que citados en el RETILAP:

- Los medios de evacuación deben iluminarse en todos los puntos, incluyendo ángulos e intersecciones de corredores y pasillos, escaleras, descansos y puertas de salida, con una iluminancia no menor de 10 luxes, medidos en el piso.
- En las vías de evacuación cuyo ancho no exceda de 2 m, la iluminancia horizontal en el suelo debe ser, como mínimo, 1 lux a lo largo del eje central y 0,5 lux en la banda central que comprende al menos la mitad de la anchura de la vía. Las vías de evacuación con anchura superior a 2 m pueden ser tratadas como varias bandas de 2 m de anchura, como máximo.

10.14.7.4.2.8 Iluminación de emergencia

La iluminación de emergencia debe cumplir con los siguientes requisitos citados en el RETILAP:

- Los medios de evacuación deben iluminarse en todos los puntos, incluyendo ángulos e intersecciones de corredores y pasillos, escaleras, descansos y puertas de salida, con una iluminancia no menor de 10 luxes, medidos en el piso.
- En las vías de evacuación cuyo ancho no exceda de 2 m, la iluminancia horizontal en el suelo debe ser, como mínimo, 1 lux a lo largo del eje central y 0,5 lux en la banda central que comprende al menos la mitad de la anchura de la vía. Las vías de evacuación con anchura superior a 2 m pueden ser tratadas como varias bandas de 2 m de anchura, como máximo.

La iluminación de emergencia será especificada mediante luminarias tipo autónomo conectadas a la red de energía normal.

10.14.7.4.3 Especificaciones técnicas

10.14.7.4.3.1 Celdas de media tensión

El diseño, fabricación, pruebas e instalación de las celdas de media tensión deberán cumplir con lo estipulado en el RETIE capítulo 3. Requisitos de producto, tanto los criterios generales y los requisitos particulares de la sección 20.23. Tableros eléctricos y celdas y lo estipulado en las especificaciones técnicas y normas de CODENSA. Deben ser autoportadas para uso interior.

Las celdas deben ser fabricadas bajo la norma IEC 62271-200: Equipos bajo envolvente metálica para corriente alterna de tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.

El galvanizado debe cumplir con las normas, ASTM A123: Especificación para galvanizado en caliente de productos de hierro y acero, y la ASTM A153: Especificación para galvanizado en caliente de herrajes de hierro y acero.

Arco interno IEC 62271-200 Anexo A: "Method for testing the metal-enclosed switchgear and controlgear under conditions of arcing due an internal fault".

Los transformadores de corriente deben cumplir con la norma IEC 44-.1

Los transformadores de potencial deben cumplir con la norma IEC 186

Las celdas de media tensión deberán contar con la certificación de producto con RETIE expedido por un organismo acreditado por ONAC.

Las celdas deben ser del tipo blindadas compartimentadas. Como mínimo el compartimiento que aloja el interruptor o seccionador, debe ser un sistema de presión sellado y cumplir con la IEC 62271-200, para que se garantice una vida útil superior a 20 años libre de mantenimiento. La envolvente que aloja lo anterior debe ser en acero inoxidable y debe ser soldada herméticamente.

La entrada de los cables a la celda debe ser por la parte inferior, y se debe proveer de prensaestopas que sellen el espacio entre los cables y la celda.

Las celdas se instalarán en cuartos con renovación de aire.

10.14.7.4.3.2 Transformadores de distribución de media tensión

Diseño, fabricación y pruebas para transformadores trifásicos tipo seco, clase F, (T ambiente 40°C + punto caliente T 15°C + incremento de T 100°C = Total 155°C), con tensión en lado de alta, 34,5 kV, 60 Hz, grupo de conexión Dyn5. Tensión en BT de 208 voltios o 460 voltios, si aplica

Debe contar con derivaciones en el lado de media tensión de 5 posiciones y rangos de operación de +/- 2*2,5% con derivación central.

El procedimiento de diseño, fabricación y pruebas debe estar de acuerdo con la norma IEC 60076, NTC 3654 "Transformador de potencia tipo seco", la especificación técnica de CODENSA ET013 "Transformador trifásico de distribución tipo seco, la norma técnica de CODENSA CTS518 "Instalación de transformador tipo seco en celda (Nivel 2)" y con lo estipulado en el RETIE capítulo 3. Requisitos de producto, tanto los criterios generales y los requisitos particulares de la sección 20.25. Transformadores.

Deben disponer de DPS en media tensión que cumpla con la norma IEC 60099-4 para fabricación e IEC 60587 para pruebas.

Los transformadores deberán contar con la certificación de producto con RETIE expedido por un organismo acreditado por ONAC.

Los transformadores tipo seco, para instalación interior, trifásicos, con bobinados encapsulados en resina epóxica al vacío, autorefrigerados (sin refrigeración forzada), los cuales serán instalados dentro de celdas metálicas, por lo tanto, las dimensiones, conexiones y demás requisitos del transformador deberán ser completamente coordinadas con la celda. El material de los devanados debe ser en aluminio.

10.14.7.4.3.3 *Tableros de distribución en baja tensión*

Diseño, fabricación y pruebas para los tableros de distribución para baja tensión, 600 V nominales.

Los tableros se deberán fabricar únicamente por empresas que cuenten con la certificación de conformidad del producto con RETIE expedida por un organismo acreditado por la ONAC.

Deberán cumplir con lo estipulado en el RETIE capítulo 3. Requisitos de producto, tanto los criterios generales y los requisitos particulares de la sección 20.23. Tableros eléctricos y celdas.

Los tableros deberán cumplir con las normas:

- NTC 2050 sección 384 - Cuadros de distribución y paneles de distribución,
- ANSI/IEEE C37.20 - Switchgear assemblies including metal-enclosed bus,
- ANSI/IEEE C37.20.1 - Metal-Enclosed Low-Voltage, IEC 60947 - Low voltage switchgear and controlgear,
- IEC 60445 - Identification of equipment terminals and of terminations of certain designated conductors, including general rules of an alphanumeric system,
- IEC 60473 - Dimensions for panel-mounted indicating and recording electrical measuring instruments.
- NEMA 563 - Low voltage power circuit breakers.

10.14.7.4.3.4 *Medidores de energía*

Los medidores de energía deben cumplir con la norma CODENSA Generalidades 7.4 - Medidores de energía eléctrica. Los medidores y armarios deberán contar con la certificación de conformidad de producto con RETIE expedido por un organismo acreditado por ONAC.

Los medidores usados para registro de consumo de energía, si aplica, deben ser medidores trifásicos tetrafilares, y deben cumplir con la norma CODENSA AE414.

10.14.7.4.3.5 *Especificaciones técnicas de materiales eléctricos*

- **Conductores de cobre**

Los conductores de cobre deben ser COBRE PURO, 99,9 %, según norma NTC 1818, ICONTEC 307, ASTM B8, ICONTEC 359, ASTM B3

Temperatura de operación, 75°C

Temperatura máxima de operación, 90°C

- **Bandejas portacables**

Las bandejas portacables deben ser del tipo semipesado fabricadas en acero galvanizado en caliente y cumplir con las normas IEC 61537, NEMA VE-1

- **Tubería IMC**

La tubería metálica tipo IMC se instalará a la vista en exteriores, en sitios donde se exponga a trabajo pesado y que se requiera hermeticidad de la instalación. La fabricación debe cumplir con las normas UL 1242; NTC–169; ANSI C 80.6.

Las pruebas que debe cumplir son las siguientes: Prueba de abocardado: Según norma NTC 103; Prueba de doblez: Según normas ANSI C 80.1 (UL 6), ANSI C 80.6 (UL 1242); Prueba de espesor de capa: Según normas ANSI C 80.6 (UL 1242)

- **Tubería EMT**

La tubería metálica tipo EMT se instalará en interiores en donde no se requiera hermeticidad de las instalaciones. La fabricación debe cumplir con las normas UL 797; NTC–105; ANSI C 80.3.

Las pruebas que debe cumplir son las siguientes: Prueba de abocardado: Según norma NTC 103; Prueba de doblez: Según normas UL 797, ANSI C 80.3 (NTC 105); Prueba de espesor de capa: Según normas UL 797

- **Tubería PVC**

La tubería tipo PVC se instalará enterrada o embebida en muros y deberá cumplir con los requisitos y ensayos estipulados en las Normas NTC 979 y NTC 1630.

Las pruebas que debe cumplir se describen en la Norma NTC 105.

- **Bancos de ductos**

Los bancos de ductos construidos con tubería PVC, serán utilizados para el tendido de las redes subterráneas de distribución primaria, secundaria, de alumbrado público y alimentadores de baja tensión.

El sistema de bancos de ductos debe cumplir con lo estipulado en la norma CODENSA CS generalidades 3.2.1. “Cámaras y ducterías”.

Los materiales que conforman los bancos de ductos deben cumplir con lo indicado en las normas CODENSA:

| | | | | | | | | |
|---------|---------|----------|-------|---------|---------|-------|---|----------|
| Tubería | PVC | según | norma | CODENSA | CS200, | CS201 | y | CS201-1. |
| Relleno | subbase | granular | según | norma | CODENSA | CS207 | a | CS221-1. |
| Arena | de | peña | según | norma | CODENSA | CS207 | a | CS221-1. |

Banda plástica según norma CODENSA CS273.

- **Cajas de inspección y halado**

Las cajas de inspección se requerirán según la aplicación y se tiene normalizadas del tipo sencillas, dobles, vehiculares para redes de media tensión, baja tensión y alumbrado público, y cajas para alojar seccionadores de maniobra.

Se debe cumplir con lo estipulado en la norma CODENSA CS generalidades 3.2.1. “Cámaras y ducterías”. Los materiales y cantidades de construcción deberán estar de acuerdo con las normas CODENSA para cajas de inspección: CS290, CS280, CS277, CS276, CS275, AP274, AE280 Y AE281; y para marco y tapa: CS281-3, CS280-3, CS280-1, CS279, CS276-1, CS275-1 y AP279.



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

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

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



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

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

CONTROL DE CAMBIOS

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| Versión | Fecha | Sección Modificada | Observaciones |
|---------|------------|---|---|
| A | 18-02-2022 | - | Versión Inicial |
| B | 08-03-2022 | Integración general de modificaciones solicitadas | Observaciones de FDN/Interventoría/EMB. |
| C | 05-05-2022 | - | - |

REVISIÓN Y APROBACIÓN FDN

| |
|-----------------------------|
| J. C. Pantoja 18-05-2022 |
| Director de estructuración |

REVISIÓN Y APROBACIÓN

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

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| 1. A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ... | 5 |
| 2. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ... | 5 |
| 2.1. PATIOS Y TALLERES | 5 |
| 2.1.1. Telecomunicaciones | 5 |
| 2.1.1.1. Sistema de voz y datos | 5 |
| 2.1.1.1.1. Objetivos | 5 |
| 2.1.1.1.2. Importancia | 5 |
| 2.1.1.1.3. Funcionamiento | 5 |
| 2.1.1.1.4. Criterios de diseño | 6 |
| 2.1.1.1.5. Ubicación Patio Taller | 6 |
| 2.1.1.1.6. Cantidades | 9 |
| 2.1.1.2. Sistema CCTV | 10 |
| 2.1.1.2.1. Objetivos | 10 |
| 2.1.1.2.2. Importancia | 10 |
| 2.1.1.2.3. Funcionamiento | 10 |
| 2.1.1.2.4. Criterios de diseño | 11 |
| 2.1.1.2.5. Ubicación Patio Taller | 11 |
| 2.1.1.2.6. Cantidades | 17 |
| 2.1.1.3. Sistema de megafonía | 18 |
| 2.1.1.3.1. Objetivos | 18 |
| 2.1.1.3.2. Importancia | 18 |
| 2.1.1.3.3. Funcionamiento | 18 |
| 2.1.1.3.4. Criterios de diseño | 18 |
| 2.1.1.3.5. Ubicación Patio Taller | 19 |
| 2.1.1.3.6. Cantidades | 22 |
| 2.1.1.4. Sistema de detección y alarma contra incendios | 23 |
| 2.1.1.4.1. Objetivos | 23 |
| 2.1.1.4.2. Importancia | 23 |
| 2.1.1.4.3. Funcionamiento | 23 |
| 2.1.1.4.4. Criterios de diseño | 24 |
| 2.1.1.4.5. Ubicación Patio Taller | 25 |
| 2.1.1.4.6. Cantidades | 28 |
| 2.1.1. Conclusiones | 29 |

LISTA DE TABLAS

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

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

Tabla 1. Puntos de voz y datos en Patio taller

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama - Sistema de detección y alarma contra incendios

1. A. DEFINICIÓN DEL ESQUEMA OPERACIONAL Y FINANCIERO ...

2. INFRAESTRUCTURA BÁSICA NECESARIA PARA LA OPERACIÓN ...

2.1. PATIOS Y TALLERES

2.1.1. Telecomunicaciones

2.1.1.1. Sistema de voz y datos

2.1.1.1.1. *Objetivos*

El sistema de voz y datos para el patio taller tiene por objeto incluir todos los equipos e infraestructura necesaria para implementar los sistemas de comunicación interna y externa para fines corporativos, es decir permitir a los operadores comunicarse entre sí en los recintos al interior del patio y talleres así como con la red de telefonía pública y permitir el acceso a internet.

2.1.1.1.2. *Importancia*

El sistema de voz y datos permitirá a los usuarios encargados de las tareas administrativas y corporativas dentro del proyecto de la L2MB, contar con acceso a servicios que no hacen parte de la operación propia del sistema Metro, pero que sí hacen parte del proceso administrativo del mismo.

2.1.1.1.3. *Funcionamiento*

Este sistema se basará en una red de puntos de conexión, tanto voz como datos, en distintas áreas de patios y talleres.

Las edificaciones que cuentan con red de voz y datos son el edificio estacionamiento de trenes o cochera, máquinas de lavado, mantenimiento ligero menor, torno en foso, mantenimiento mayor, taller de mantenimiento de infraestructura y vehículos de mantenimiento.

En cada uno de estos sitios se han planteado puntos para conexión de red de voz y de datos conforme a lo indicado a continuación:

Tabla 1. Puntos de voz y datos en Patio taller

| EDIFICIO | ÁREA TÉCNICA m2 | PUNTOS RED VOZ Y DATOS CON PROPÓSITOS OPERACIONALES |
|--|--------------------|---|
| Cochera | 100 | Sí |
| Máquina de lavado | 100 | Sí |
| Taller de mantenimiento menor | 500 | Sí |
| Taller de mantenimiento mayor | 2000 | Sí |
| Torno en foso | 30 | Sí |
| Mantenimiento de las infraestructuras | 500 | Sí |
| Administración | 700 | Sí |
| Otro locales técnicos | 50 | Sí |

2.1.1.1.4. Criterios de diseño

Los criterios de diseño empleados para el estudio y definición del sistema voz y datos, se encuentran dados bajo las siguientes consideraciones:

- Los equipos del sistema de voz y datos deben permitir la comunicación interna y externa del personal operativo en oficinas, subestaciones, salas de control, recepción y cuartos técnicos. Se instalarán puntos de voz y datos en estas áreas con el fin de permitir la conexión de equipos de cómputo y teléfono.
- En cantidades de cableado, se considera que la distancia del cableado de cobre desde cada Rack de distribución horizontal hasta los puntos de datos (puestos de trabajo) no superará los 100 m de longitud, cumpliendo con la normativa para cableado categoría 6A.
- Se considera un Rack de comunicaciones ubicado en la oficina de logística del edificio administrativo. El dimensionamiento del Rack tuvo en cuenta la cantidad de equipos que se conectarán en la estación.



2.1.1.1.5. Ubicación Patio Taller

Como planteamiento inicial de ubicación del sistema de voz y datos se propone la ubicación del Rack de comunicaciones en una de las oficinas logísticas ubicadas en el edificio administrativo, siendo este el lugar al cual estarán dirigidas todas las conexiones de voz y datos dentro del Patio Taller.

En el caso del edificio administrativo se plantea la ubicación de puntos de voz y datos para la primera planta en la recepción, recursos humanos control horario, recursos humanos dirección y oficinas abiertas.

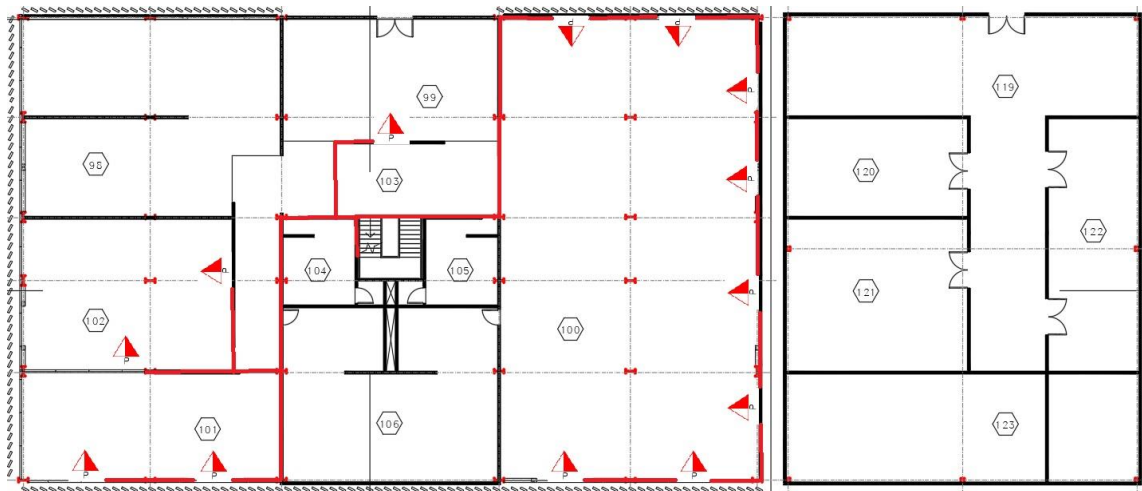


Figura 1. Sistema voz y datos Planta 1 Edificio Administrativo

Para la segunda planta del edificio administrativo se plantea ubicación de puntos de voz y datos en las salas de juntas, oficinas de control de mantenimiento, oficinas abiertas y oficinas de logística.

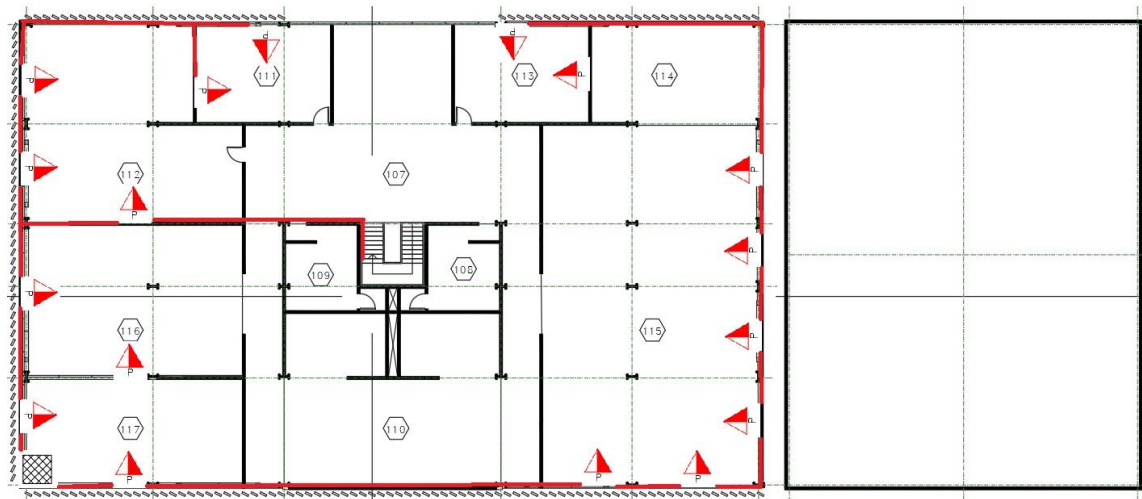


Figura 2. Sistema voz y datos Planta 2 Edificio Administrativo

También se plantea ubicación de puntos de voz y datos en la planta de edificaciones técnicas , existiendo ubicación de puntos de voz y datos en oficinas, control gerente mantenimiento, control jefe de equipo, oficina gerencia de mantenimiento y local técnico de pintura.

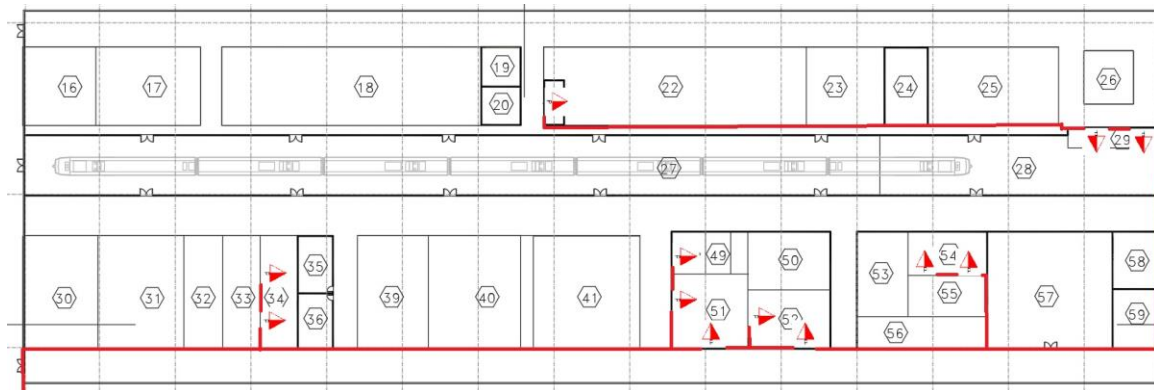


Figura 3. Sistema Voz y datos Edificaciones técnicas

En el caso del taller de mantenimiento de infraestructura se plantea ubicación de puntos de voz y datos en salas técnicas, oficinas locales para operadores y puntos de datos en subestaciones.

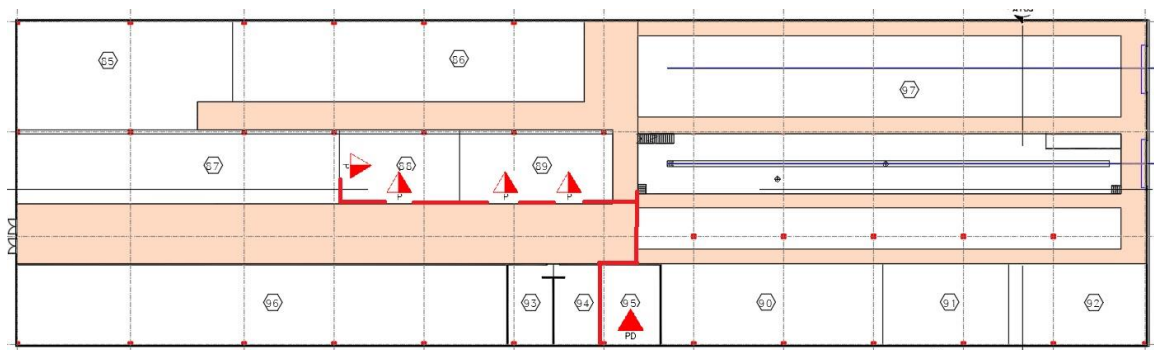


Figura 4. Sistema Voz y datos Taller de mantenimiento de infraestructuras

Para el torno de foso se plantea ubicación de puntos de voz y datos en cuartos técnicos.

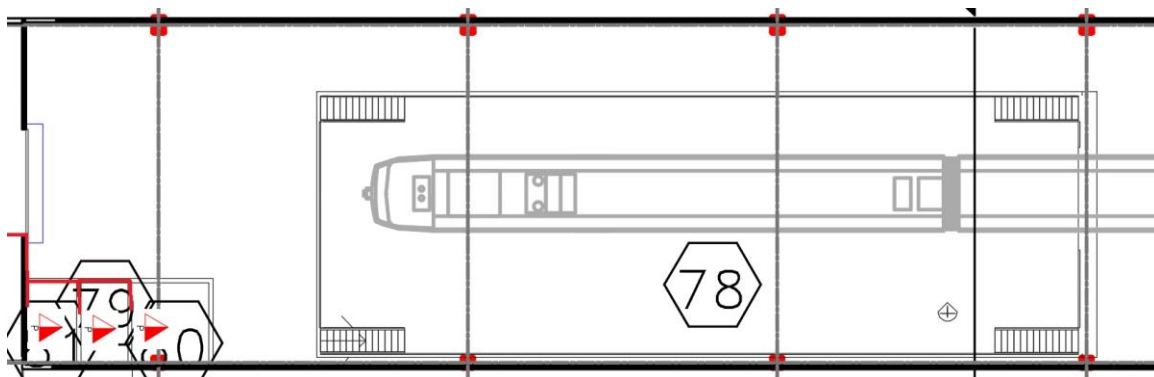


Figura 5. Sistema voz y datos Torno de foso

En la máquina de lavado se ubican puntos de voz y datos en local técnico y puntos de datos en subestaciones.

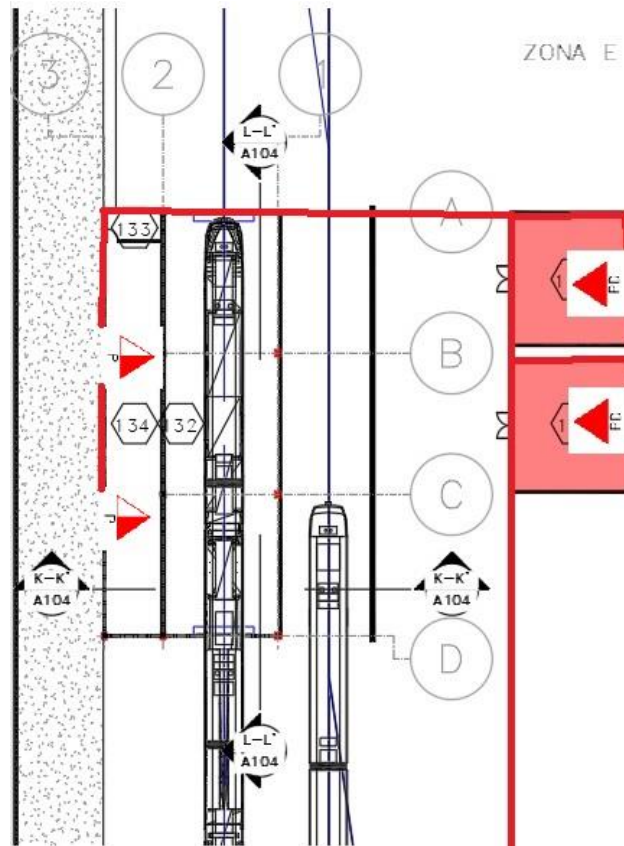


Figura 6. Sistema Voz y datos Máquina de lavado

Para las cocheras se plantea ubicación de puntos de voz y datos en locales técnicos.

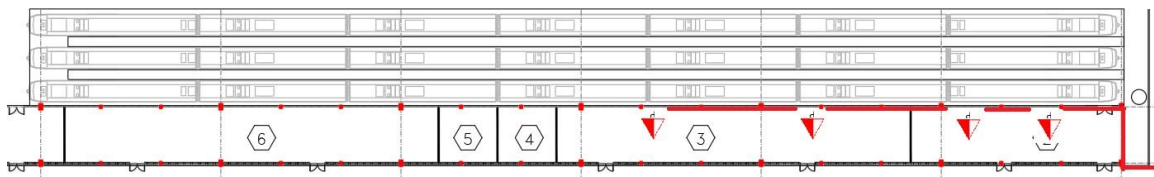


Figura 7. Sistema Voz y datos Cochera



2.1.1.1.6. Cantidades

A partir de las ubicación de puntos de voz y datos propuestos en la anterior sección se plantean unas cantidades iniciales de puntos de voz y datos en el Patio Taller según edificación.

Tabla 2. Cantidades puntos de voz y datos Patio Taller

| Edificación | Punto voz y datos | Punto de datos | Rack Comunicaciones |
|---|-------------------|----------------|---------------------|
| Edificio administrativo | 30 | - | 1 |
| Edificaciones técnicas | 12 | - | - |
| Taller de mantenimiento infraestructura | 4 | 1 | - |
| Torno de foso | 3 | - | - |
| Cocheras | 4 | - | - |
| Máquina de lavado | 2 | 2 | - |
| Total | 55 | 3 | 1 |

2.1.1.2. Sistema CCTV

2.1.1.2.1. Objetivos

El sistema de circuito cerrado de televisión (CCTV) tiene como objeto la visualización, supervisión, seguridad y almacenamiento, en tiempo real durante las 24 horas del día, 7 días de la semana, de imágenes de puntos estratégicos del patio y talleres del proyecto.

2.1.1.2.2. Importancia

Este sistema, además de visualizar, supervisar y almacenar imágenes de puntos estratégicos en tiempo real durante las 24 horas del día, los 7 días de la semana, también tendrá la capacidad de detectar intrusos en áreas restringidas y humo en talleres o áreas administrativas. Adicionalmente, tendrá identificación o reconocimiento facial.

2.1.1.2.3. Funcionamiento

La red de video de las cámaras del CCTV de las estaciones estará enlazada en fibra óptica o cable UTP categoría 6A conforme a la distancia de la cámara al switch o concentrador. Se incluyen también switches con puertos ópticos y eléctricos que permiten la conexión de las cámaras. La consola en su conjunto incluye un videograbador, monitor y software de manejo.

Las funciones del software del sistema CCTV son las siguientes:

- Configurar y gestionar remotamente los dispositivos: cámaras, monitores y los servidores de almacenamiento.

- Registrar y gestionar los usuarios que podrán utilizar el sistema, estableciendo distintos perfiles de usuario para limitar el acceso al sistema.
- Escoger el modo de visualización de las imágenes de las cámaras; es decir, si se quiere hacer por secuencias o grupos de cámaras que cambian de forma síncrona o si se quiere mostrar una o más cámaras permanentemente en el monitor.
- Ajustar la cantidad de cámaras a desplegar en cada monitor y el orden en que se visualizarán las mismas.
- Establecer una ventana hotspot. Esto significa que cuando el operador observe alguna cámara en la que esté ocurriendo algo a lo que se le deba prestar atención, pueda escoger, sin tener que dejar de visualizar la información de las demás cámaras, y ésta se enmarque en un borde de un color que resalte.
- Controlar el zoom de las cámaras.
- Acceder a los videos grabados.
- Monitorear el estado de los dispositivos pertenecientes al sistema CCTV. En caso de que se detecte algún fallo, se generará automáticamente una alarma que lo indique; además, esto deberá quedar registrado en un reporte.
- Desplegar la información relacionada con cada una de las cámaras: estado, tipo de cámara y ubicación
- Generar alarmas al operador en caso de detección de incidentes y anomalías como objeto en la vía, objeto extraviado, humo, presencia de personas en lugares no autorizados
- En caso de intrusión en la zona de talleres en áreas restringidas o de seguridad, el sistema generará la alerta y la cámara de la zona enfocará la zona siniestrada.

2.1.1.2.4. Criterios de diseño

Los criterios para el sistema de vigilancia electrónica, se establecen de forma que pueda cumplir con las siguientes características:

- El sistema de vigilancia electrónica estará compuesto por el sistema de detección de intrusos y el sistema CCTV.
- Se plantea un rango de visión máximo de 60 metros por cámara.
- El sistema de vigilancia electrónica debe permitir realizar reconocimiento facial
- Mediante el sistema de vigilancia electrónica CCTV se podrá realizar la detección de fuego y humo en zonas específicas del Patio taller , al integrarlo con un sistema de detección de incidentes
- El sistema podrá detectar personal no autorizado en áreas restringidas como oficinas, zonas administrativas o zonas técnicas del Patio Taller
- El sistema notificará al CCO sobre eventos inusuales, incidentes o falta de reconocimiento de alarmas por parte del personal del Patio Taller.



2.1.1.2.5. Ubicación Patio Taller

Como planteamiento inicial de ubicación del sistema CCTV se propone para el Patio Taller la ubicación de cámaras de seguridad en pasillos y zonas perimetrales , junto a su ubicación en el interior de los distintos cuartos inmersos en las zonas técnicas.

Para las zonas externas de las edificaciones del Patio Taller se plantea ubicación de cámaras en caseta de seguridad, zona externa de las cocheras, zona externa de edificio de mantenimiento de infraestructura y la lo largo del perímetro del Patio Taller.

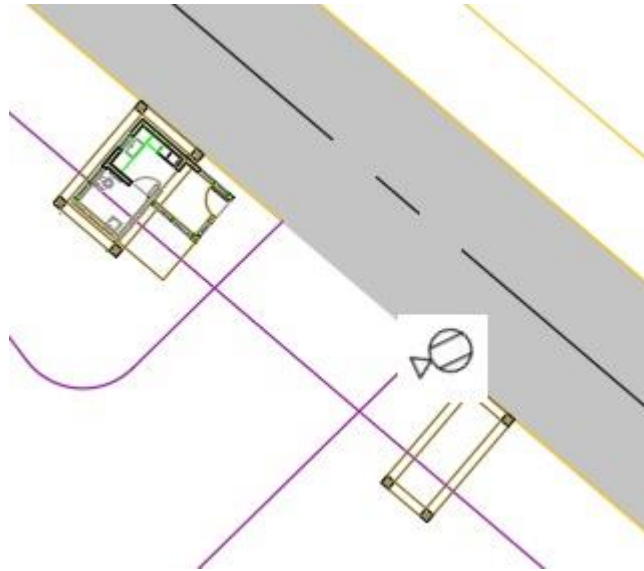


Figura 8. Sistema CCTV Caseta de seguridad

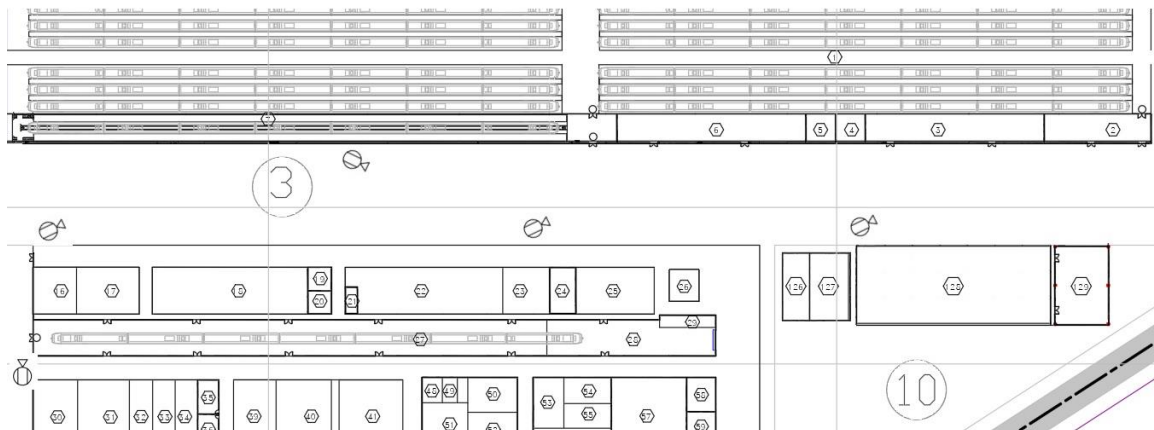


Figura 9. Sistema CCTV Zona externa Cochera

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

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

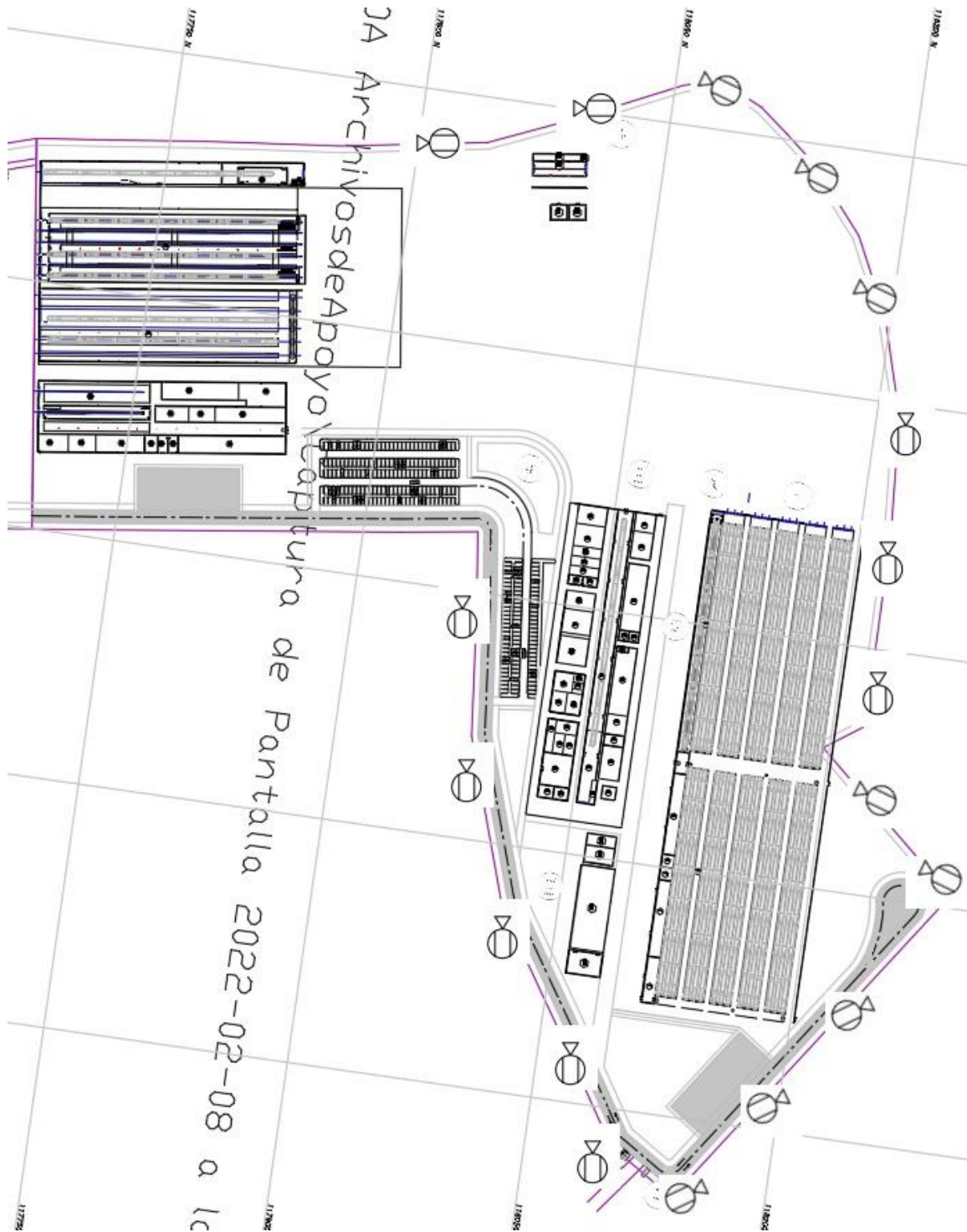


Figura 11. Sistema CCTV Perímetro Patio Taller

En el caso del edificio administrativo se plantea ubicación de cámaras en la primera planta en recepción, hall, recursos humanos control horario , recursos humanos dirección, oficinas abiertas y comedor.

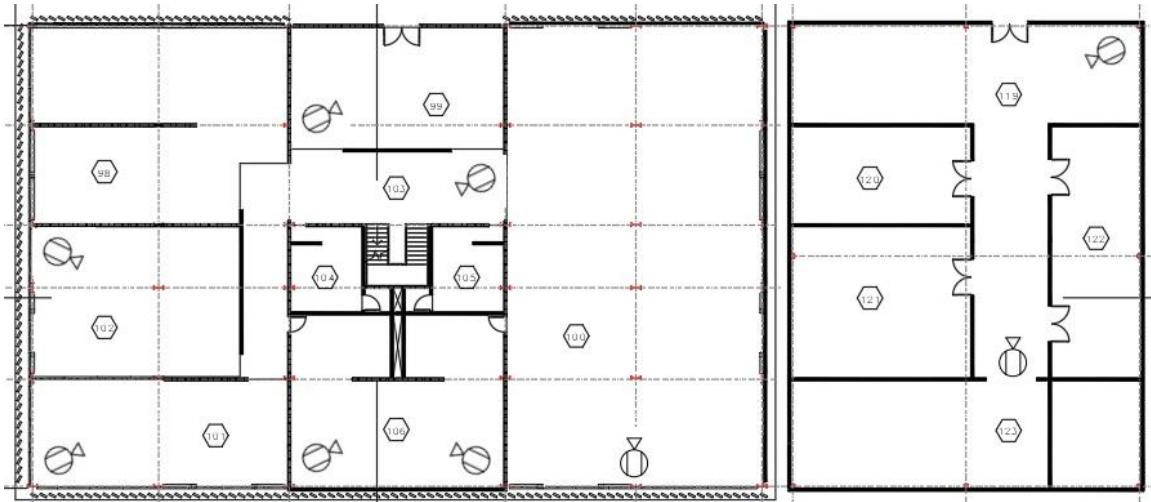


Figura 12. Sistema CCTV Planta 1 edificio administrativo

En la segunda planta se propone ubicación de cámaras en sala de juntas, oficinas control y mantenimiento, oficinas logísticas, planificación/soporte programado, oficinas abiertas y sala de espera.

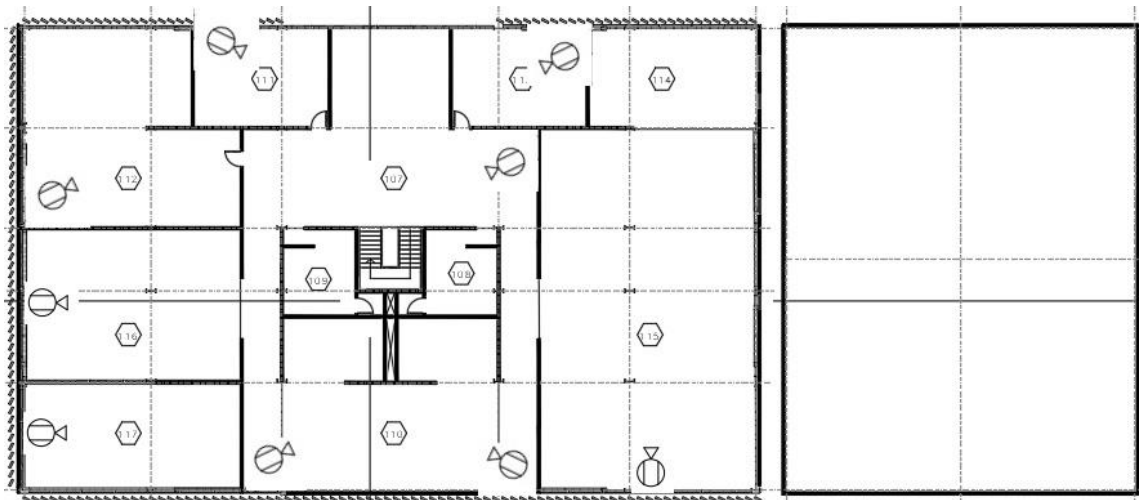


Figura 13. Sistema CCTV Planta 2 edificio administrativo

Para la planta de edificaciones técnicas propone ubicación de cámaras en pasillos, sección de pintado, sección bastidores, oficinas, local técnico de pinturas, cabina pintura de coches, cabina de secado ,control gerente mantenimiento y oficinas gerencia de mantenimiento.

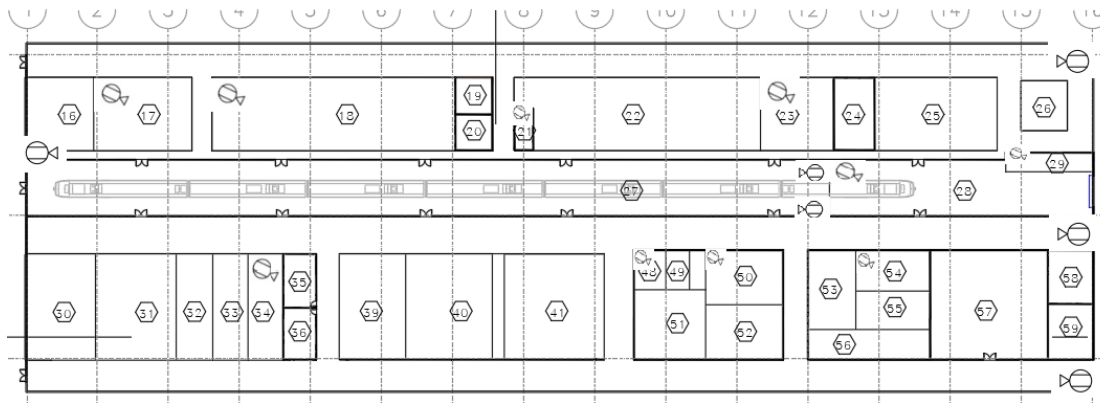


Figura 14. Sistema CCTV Planta edificaciones técnicas

Para las plantas de Mantenimiento mayor y menor se plantea la ubicación de cámaras a lo largo de los pasillos.

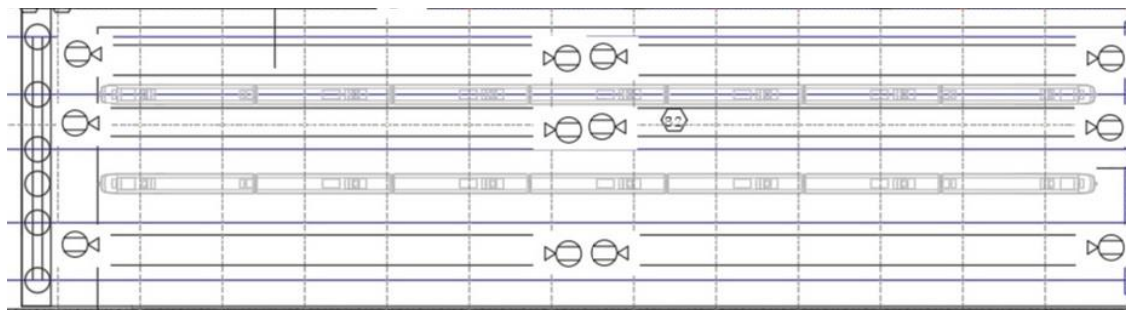


Figura 15. Sistema CCTV Planta Mantenimiento Mayor

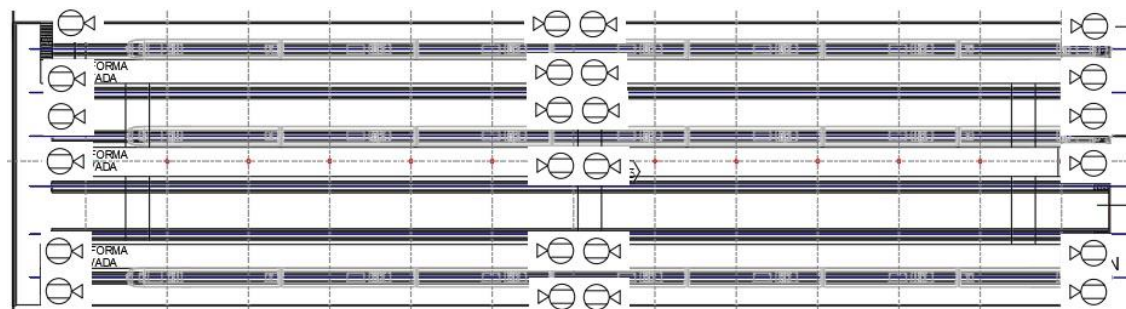


Figura 16. Sistema CCTV Planta Mantenimiento Menor

En la zona del Torno de foso se ubican cámaras a lo largo del pasillo, cuartos técnicos y Torno de foso.

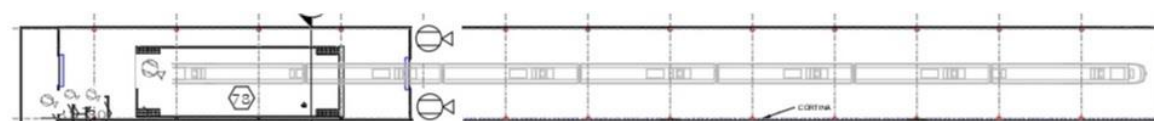


Figura 17. Sistema CCTV Torno de foso

En el taller de mantenimiento de infraestructura se propone ubicación de cámaras a lo largo de los pasillos, taller trenes de mantenimiento, almacén, subestación, salas técnicas, oficinas para operadores y sección peajes y distribuidores de billetes.

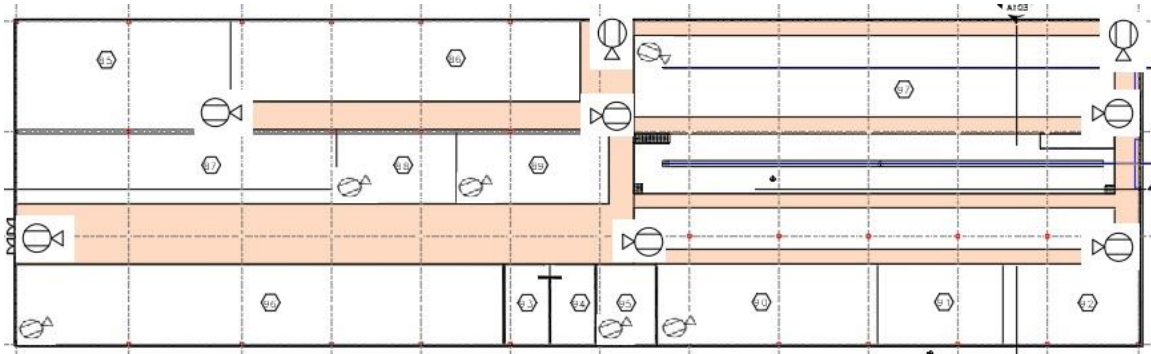


Figura 18. Sistema CCTV Taller mantenimiento de infraestructura

En las cocheras se plantea la ubicación de cámaras a lo largo de los pasillos y locales técnicos.



Figura 19. Sistema CCTV Cocheras



2.1.1.2.6. Cantidades

A partir de las ubicación de cámaras propuestos en la anterior sección se plantean unas cantidades iniciales de estas en el Patio Taller según edificación.

Figura 20. Cantidades cámaras Sistema CCTV Patio Taller

| Edificación | Cámaras |
|-------------------------|---------|
| Edificio administrativo | 18 |

| | |
|---|-----|
| Edificaciones técnicas | 16 |
| Taller de mantenimiento infraestructura | 14 |
| Torno de foso | 6 |
| Cocheras | 24 |
| Planta mantenimiento mayor | 12 |
| Planta mantenimiento menor | 24 |
| Zonas externas | 26 |
| Total | 140 |

2.1.1.3. Sistema de megafonía

2.1.1.3.1. Objetivos

El objetivo del sistema de megafonía es permitir la difusión de mensajes de audio en tiempo real o pregrabado a diferentes espacios del Patio taller, con el propósito de comunicar información a los usuarios o personal de la L2MB. El sistema de megafonía tiene la capacidad de difundir mensajes de voz en tiempo real o pregrabados con un nivel jerárquico, siendo el CCO el nivel más alto de prioridad para la difusión de estos.

2.1.1.3.2. Importancia

El sistema de megafonía se utilizará para la difusión de mensajes informativos o de emergencia en tiempo real o pregrabado a diferentes espacios de la L2MB. También, tendrá la capacidad de transmitir mensajes a distintas zonas en simultáneo.

2.1.1.3.3. Funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de este sistema se considera la instalación de altavoces, en las distintas zonas del patio y talleres. También se contará con un sistema de supervisión remota que permitirá conocer el estado de las líneas de altavoces y amplificadores, así como una corrección continuada y automática del nivel sonoro por zonas.

2.1.1.3.4. Criterios de diseño

Dentro de los criterios considerados para el sistema de megafonía se tuvieron en cuenta lo siguientes:

- Se contará con altavoces en zonas técnicas en las cuales se encuentren operarios.
- Los altavoces estarán ubicados en el techo o pared según el área de instalación

- El sistema de megafonía en Patio Taller contará con micrófonos, controladores de audio y amplificadores integrados al sistema de megafonía
- El sistema tendrá la posibilidad de sonorizar una, varias o todas las zonas del Patio Taller.



2.1.1.3.5. Ubicación Patio Taller

Como planteamiento inicial de ubicación del sistema Megafonía se propone para el Patio Taller la ubicación de altavoces en zonas técnicas en las cuales se encuentren operadores.

Para el edificio administrativo en la primera planta se propone ubicación de altavoces en comedor, hall y oficinas abiertas.

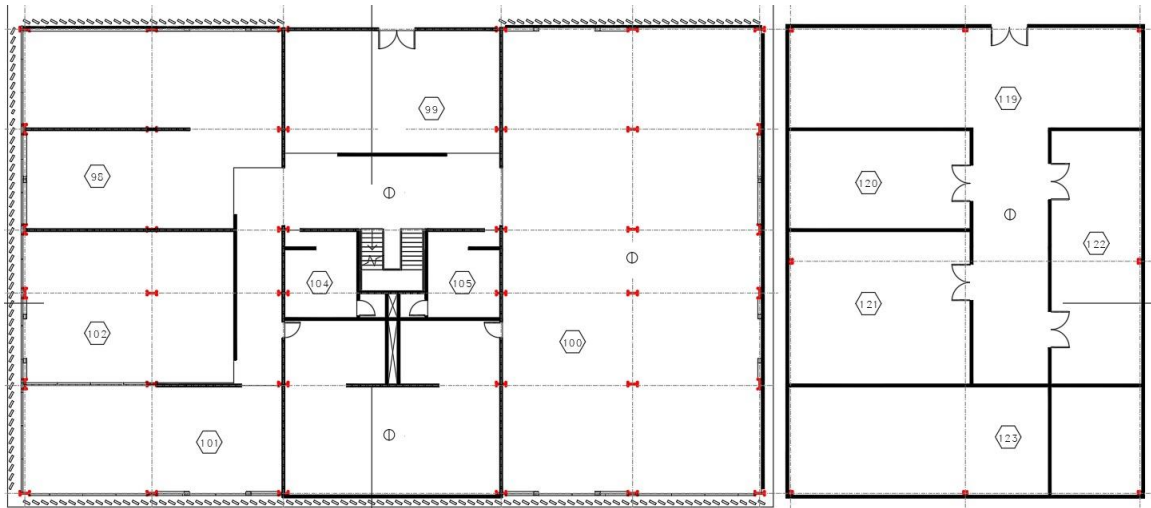


Figura 21. Sistema Megafonía Planta 1 Edificio Administrativo

En la segunda planta del edificio administrativo se plantea la ubicación de altavoces en oficinas abiertas, sala de juntas, oficinas logística y hall.

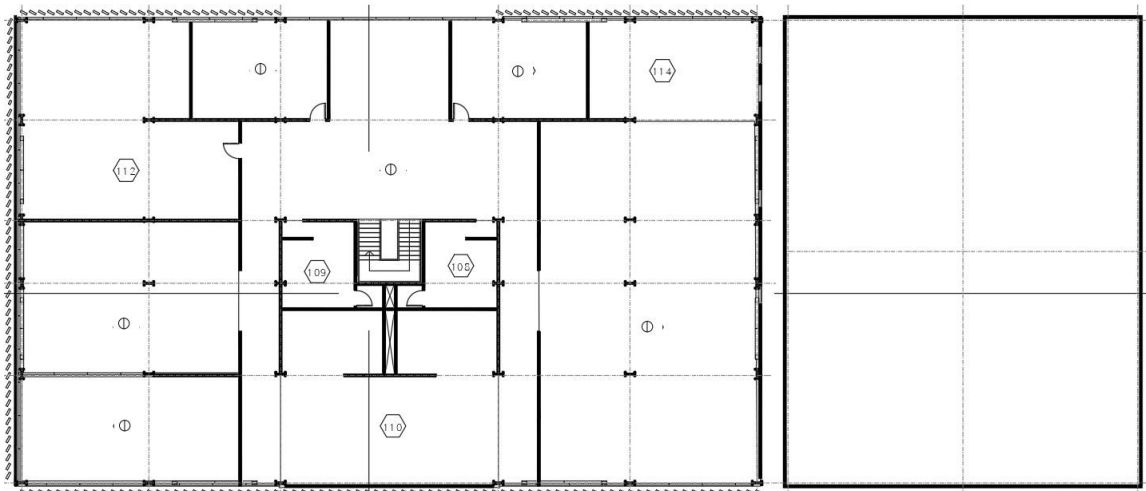


Figura 22. Sistema Megafonía Planta 2 Edificio Administrativo

En el edificio de edificaciones técnicas se propone ubicación de altavoces en oficinas y local técnico de pintura.

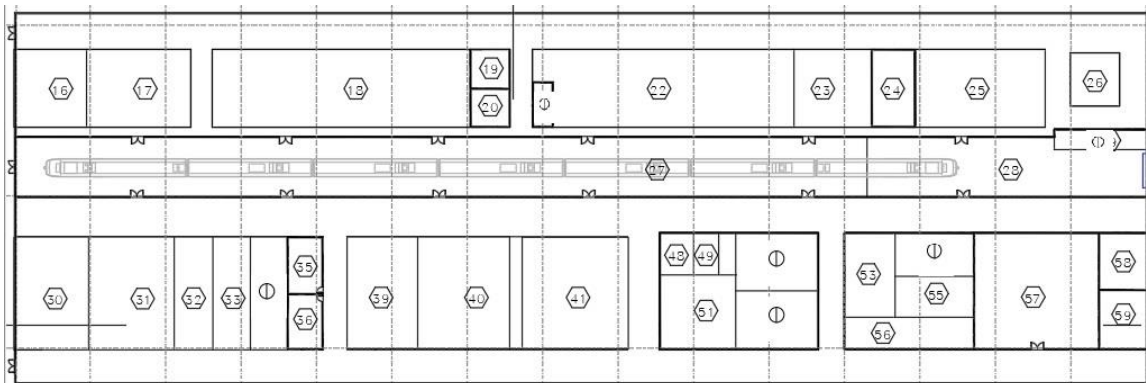


Figura 23. Sistema Megafonía Edificaciones técnicas

Para la máquina de lavado se propone ubicación de altavoces en el local técnico .

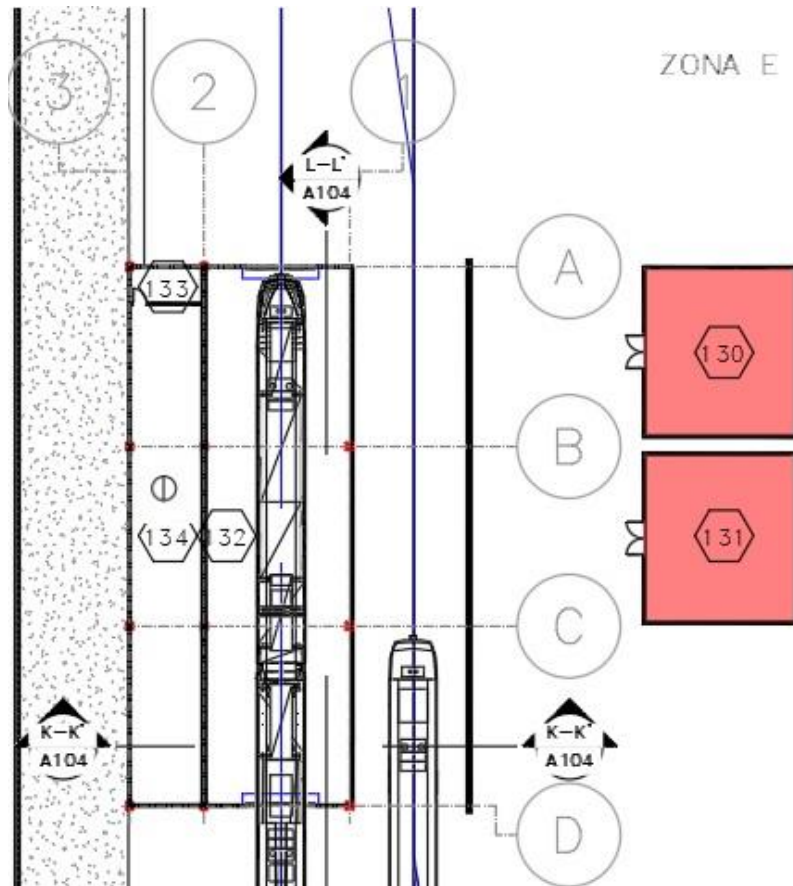


Figura 24. Sistema Megafonía Máquina de lavado

En la planta Taller mantenimiento de infraestructura se plantea ubicación de altavoces en salas técnicas, oficinas para operadores y subestación.

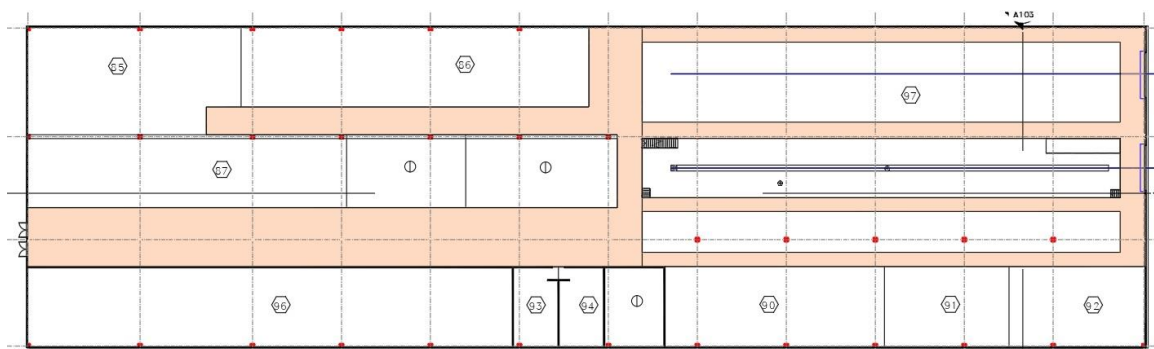


Figura 25. Sistema Megafonía Taller mantenimiento de infraestructura

Para el torno de foso se propone la ubicación de parlantes en cuartos técnicos.

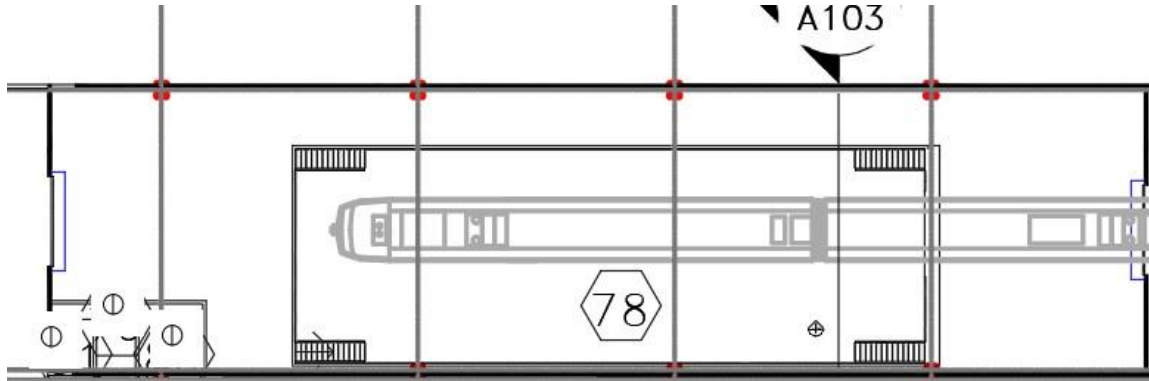


Figura 26. Sistema Megafonía Torno de foso

En las cocheras únicamente se plantea ubicación de altavoces en locales técnicos.

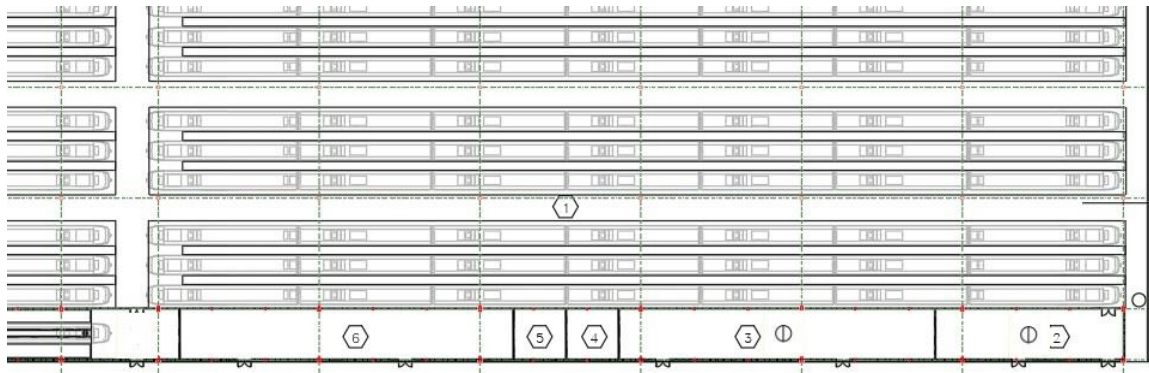


Figura 27. Sistema Megafonía Cocheras



2.1.1.3.6. Cantidades

A partir de las ubicación de altavoces propuestos en la anterior sección se plantean unas cantidades iniciales de estos en el Patio Taller según edificación.

Figura 28. Cantidades altavoces Sistema de Megafonía Patio Taller

| Edificación | Altavoces |
|---|-----------|
| Edificio administrativo | 10 |
| Edificaciones técnicas | 6 |
| Taller de mantenimiento infraestructura | 3 |

| | |
|-------------------|----|
| Torno de foso | 3 |
| Cocheras | 3 |
| Máquina de lavado | 1 |
| Total | 26 |

2.1.1.4. Sistema de detección y alarma contra incendios

2.1.1.4.1. Objetivos

Como objetivos del sistema de detección y alarma contra incendios se busca cumplir con lo siguiente:

- Garantizar una detección temprana y confiable de un conato de incendio en el patio taller y, en general, en las edificaciones del proyecto
- Propender por la seguridad humana, minimizar la afectación de bienes y limitar las posibles afectaciones sobre la operación de la L2MB.

2.1.1.4.2. Importancia

Este sistema es de vital importancia para la seguridad de los operarios del sistema, así como de los equipos y materiales del patio y los talleres. Este sistema garantizará una detección temprana y confiable ante la presencia de humo o calor en las distintas instalaciones de la L2MB.

2.1.1.4.3. Funcionamiento

El sistema de detección y alarma contra incendios consta de un panel controlador en el patio taller. Este sistema permitirá activar las alarmas de forma automática y manual. Para esto se instalarán detectores de incendio en los talleres, almacenes, cuartos técnicos y demás cuartos que lo requieran por su función, además, se dispondrán de estaciones manuales de alarmas. En estos mismos lugares, se tendrán dispositivos que notificarán la alarma a los operarios y personal del sistema. Adicionalmente, el sistema permitirá supervisar los sistemas de extinción de incendio.

A continuación se evidencia una diagrama de flujo del sistema de detección y alarma contra incendios.

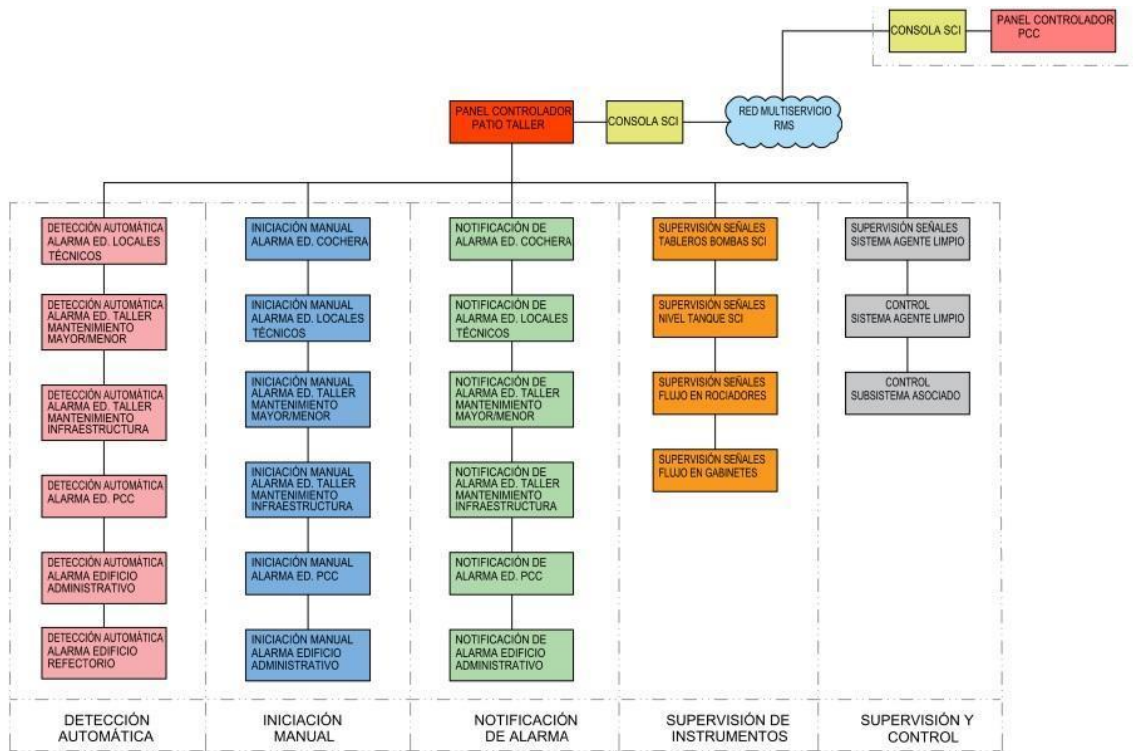


Figura 29. Diagrama - Sistema de detección y alarma contra incendios

2.1.1.4.4. Criterios de diseño

Para el sistema de detección y alarma contra incendio, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se tendrá un sistema autónomo por cada una de las estaciones, por lo cual, cada estación contará con un panel controlador de incendio desde el cual se podrá supervisar todos los eventos y se podrá tener acceso a la información proveniente de los distintos sensores, alarmas y actuadores que componen este sistema. Los paneles controladores serán direccionales y estarán enlazados entre sí
- Existirá un sistema de interfonía de emergencia que permita que los usuarios del sistema se comuniquen con los operarios de cada estación y, en caso de que no sea posible contactarlos, se debe redirigir la comunicación con el CCO, el cual tendrá personal las 24 horas
- La notificación de alarma se confirmará previamente a su anunciación mediante el panel controlador (durante un tiempo determinado), con el propósito de validar el escenario detectado, por parte del operador autorizado
- El panel controlador de cada estación reportará su estado operativo y su registro de eventos al panel controlador ubicado en el CCO por medio de la red multiservicios
- Activar los sistemas de notificación de alarma para la evacuación de emergencia
- Supervisar/iniciar acciones en el sistema de extinción de incendio
- Supervisar/iniciar acciones en el sistema de extracción de humo
- Para el CCO, el sistema deberá supervisar los diferentes paneles de control dispuestos en las diferentes estaciones y edificios pertenecientes a L2MB
- Operar señales de otros subsistemas asociados aplicables (ventilación, control de acceso, extinción de incendios y agente limpio) ante una emergencia

- Cumplir con lo estipulado en la NSR-10, NFPA 72, NFPA 101, NFPA 20, NFPA 2001, NFPA 13, NFPA 11, NFPA 70, NFPA 130, NFPA 14, UL y FM



2.1.1.4.5. Ubicación Patio Taller

Como planteamiento inicial de ubicación del sistema de Detección de incendios se propone para la estación típica la ubicación de Estaciones Manuales (EMA), Alarmas audiovisuales, detector térmico, detectores de humo fotoeléctricos y detectores de humo de haz de luz, donde estos últimos son considerados a utilizar por su alcance y por el alto de los pisos de las estaciones el cual es de aproximadamente de 6 metros.

Para el edificio administrativo se plantea para la primera planta la ubicación de EMA y alarma audiovisual en las entradas, detectores termoelectrónicos en la cocina y detectores de humo fotoeléctricos en las oficinas abiertas y recepción.

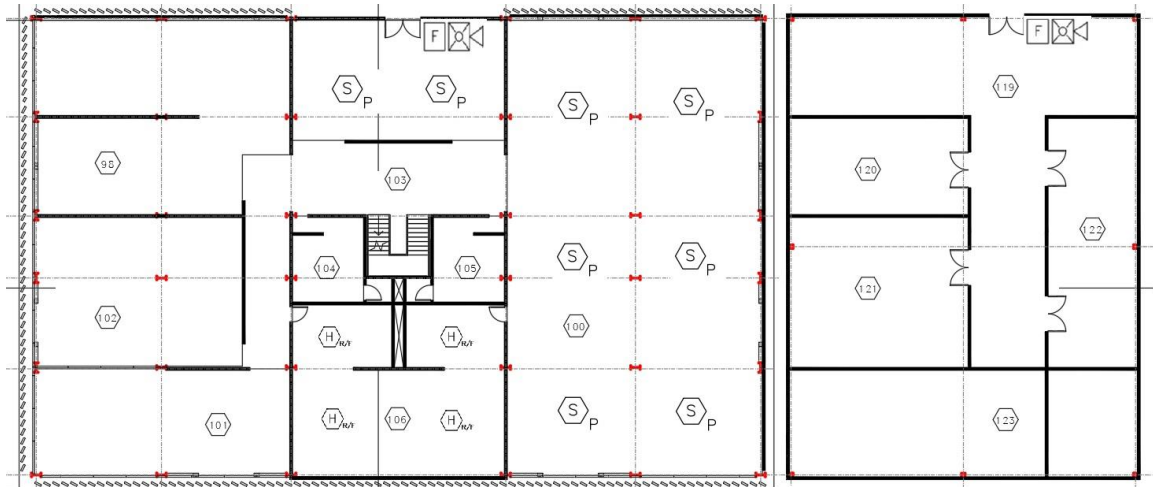


Figura 30. Sistema Detección de incendios Planta 1 Edificio Administrativo

En la segunda planta se propone ubicación de EMA y alarma audiovisual en las escaleras y detectores de humo fotoeléctricos en oficinas abiertas, oficinas logísticas, salas de juntas y oficinas control de mantenimiento.

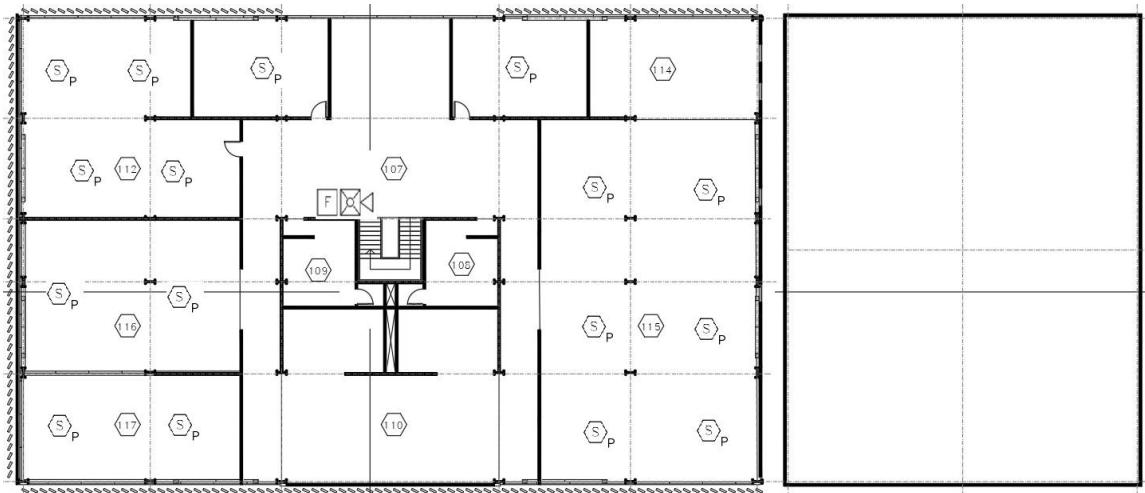


Figura 31. Sistema Detección de incendios Planta 2 Edificio Administrativo

Para las plantas de mantenimiento mayor, menor y torno de foso se plantea únicamente ubicación de EMA y alarmas audiovisuales a lo largo de los diferentes pasillos y entradas.

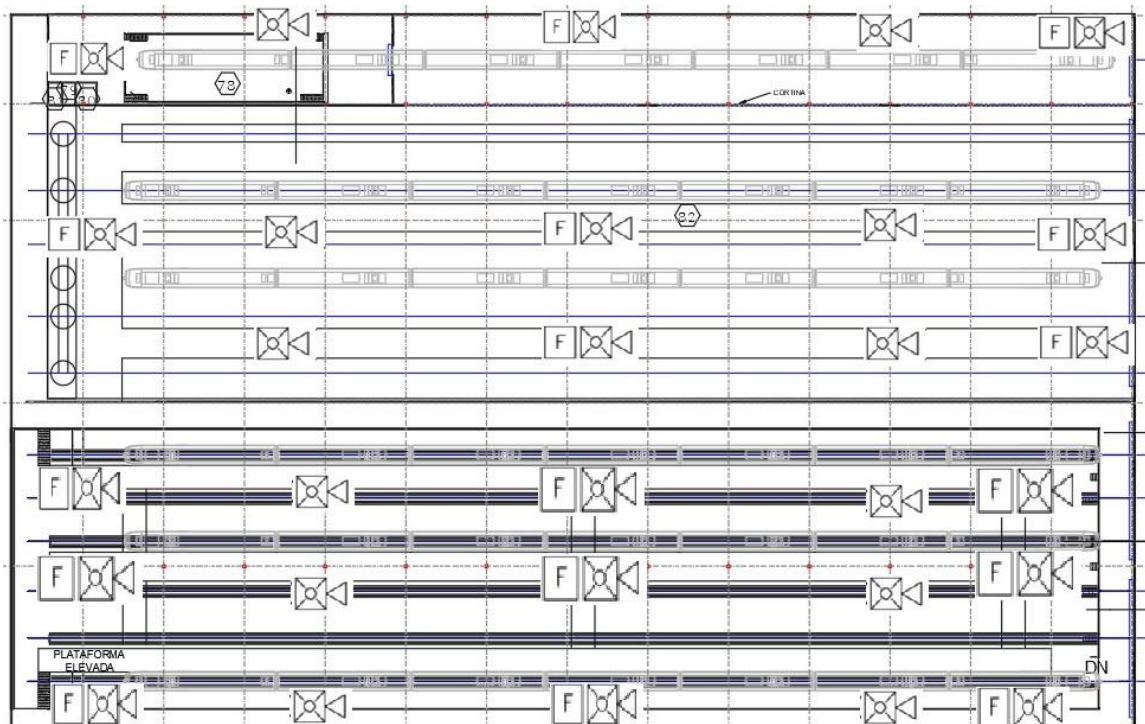


Figura 32. Sistema Detección de incendios Mantenimiento Mayor-Mantenimiento Menor y Torno de foso

En el edificio de edificaciones técnicas se propone ubicación de EMA y alarmas audiovisuales en los distintos pasillos y entradas, detectores de humo de haz de luz en la cabina de secado y cabina de pintura de coches y detectores de humo fotoeléctrico en oficinas, local técnico de pintura, almacén para herramientas y equipos de medición, control gerente mantenimiento, control jefe de equipo y oficina gerencia de mantenimiento.

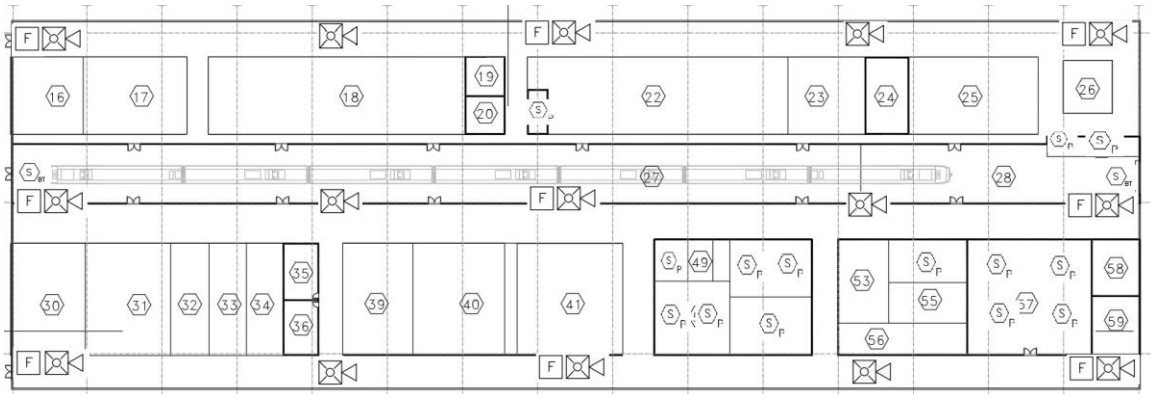


Figura 33. Sistema Detección de incendios Edificaciones técnicas

Para la máquina de lavado se propone ubicación de detectores de humo fotoeléctricos para su ubicación en subestaciones.

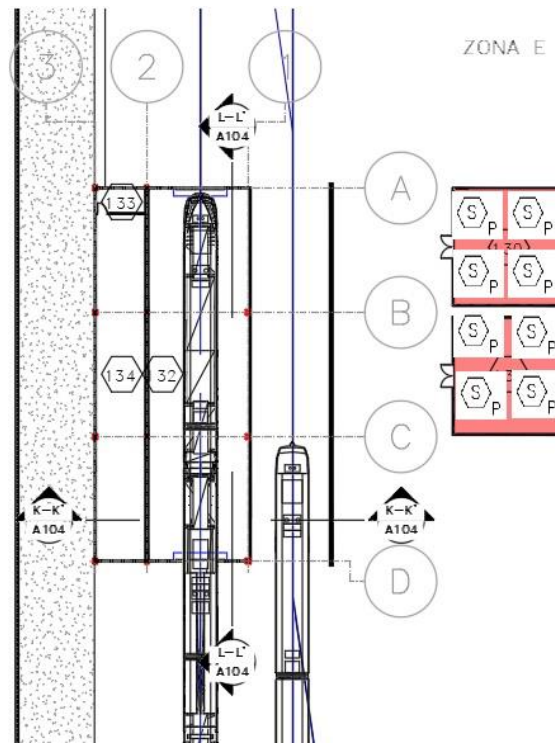


Figura 34. Sistema Detección de incendios Máquina de lavado

En el taller de mantenimiento de infraestructura se plantea ubicación de EMA y alarmas audiovisuales en pasillos y entradas y detectores de humo de haz de luz en salas técnicas, oficinas para operadores y subestación.

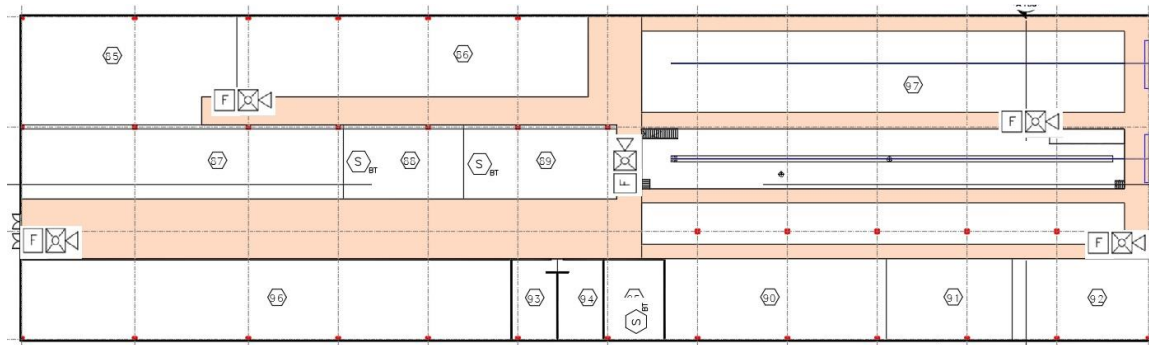
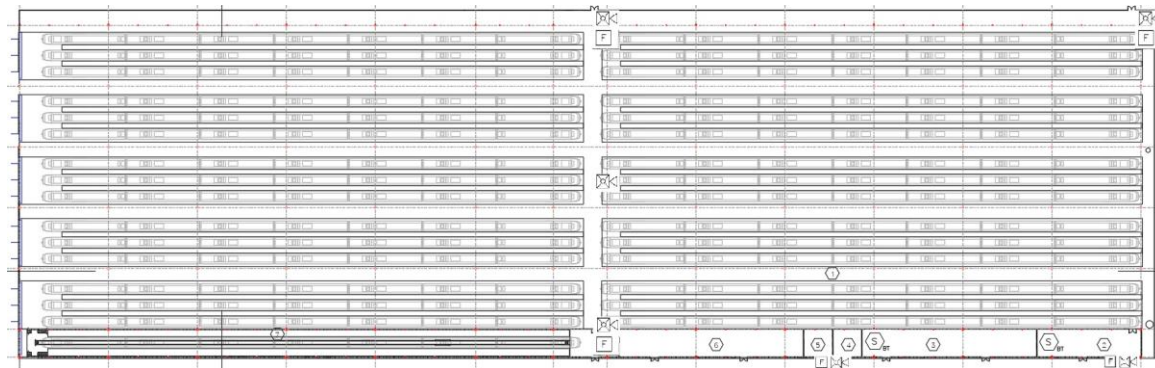


Figura 35. Sistema Detección de incendios Taller mantenimiento infraestructura

Para las cocheras se propone ubicación de EMA y alarmas audiovisuales en pasillos y entradas y detectores de humo fotoeléctricos en locales técnicos.



2.1.1.4.6. Cantidades

A partir de las ubicaciones de las EMA, alarmas audiovisuales, detector térmico, detector de humo fotoeléctrico, detector térmico y detectores de humo de haz de luz dadas en la anterior sección para el sistema de Detección de incendios en Patio Taller se obtuvieron las siguientes cantidades:

Tabla 3. Cantidades Sistema Detección de incendios Patio Taller

| Edificio | EMA | Alarma audiovisual | Detectores de humo de haz de luz | Detectores de humo fotoeléctricos | Detector térmico |
|-------------------------|-----|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Edificio administrativo | 3 | 3 | - | 24 | 4 |

| | | | | | |
|---|----|----|---|----|---|
| Edificaciones técnicas | 9 | 15 | 2 | 14 | - |
| Taller de mantenimiento infraestructura | 5 | 5 | 3 | - | - |
| Torno de foso | 3 | 3 | - | - | - |
| Taller Mantenimiento Mayor | 5 | 9 | - | - | - |
| Taller Mantenimiento Menor | 9 | 15 | - | - | - |
| Cocheras | 4 | 5 | 2 | - | - |
| Máquina de lavado | - | - | - | 4 | - |
| Total | 38 | 55 | 7 | 42 | 4 |



2.1.2. Conclusiones

- ☒ Para el sistema de voz y datos en Patio Taller a partir de las implantaciones arquitectónica, se contempló la ubicación de puntos de datos en subestaciones, para conexión de equipos de cómputo portátiles. Se contempló además puntos de voz y datos en diferentes zonas técnicas en las que a parte de requerirse usar equipos cómputo, también se requieran realizar comunicaciones por voz por parte del personal del Patio Taller.
- ☒ Se incluyó el rack de comunicaciones, el cual se ubicó en la oficina logística del edificio administrativo, considerando que sea este el edificio principal en el cual encontraremos la mayoría de puntos de voz y datos a lo largo del Patio Taller.
- ☒ Para el sistema CCTV, a partir de las implantaciones arquitectónicas, se contempló la ubicación de cámaras en el perímetro del Patio Taller, cumpliendo con no estar distanciadas a más de 60 metros para el monitoreo de las zonas generales. Se contempló la ubicación de cámaras en los distintos edificios de tal forma que se permita un monitoreo específico de todas las zonas generales. En caso de zonas técnicas, se ubicaron cámaras en estos cuartos.
- ☒ Para el sistema de Megafonía, se ubicaron altavoces en zonas técnicas del patio taller, en las cuales se encuentran operarios permanentemente.
- ☒ Conforme a las áreas de la implantación del patio taller, el sistema de detección de incendios consideró la ubicación de estaciones manuales de alarma (EMA's) y alarmas audiovisuales (AAV's) en los distintos edificios del Patio Taller, considerando EMA's cada 60 metros y AAV's cada 30 metros. La ubicación contempló que su operación guíe a las salidas de las edificaciones.
- ☒ El sistema de detección y alarma contraincendio consideró la ubicación de EMAs y AAVs para las zonas abiertas.

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

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

- € Se utilizarán detectores de humo fotoeléctrico y detectores de humo de haz de luz, en zonas técnicas en las cuales se encuentren equipos electrónicos.
- € Como parte del diseño del sistema de detección y alarma contra incendio, se ubicaron en la cocina del edificio administrativo, detectores de tipo térmico.