



Ciudad de México a 1 de diciembre de 2021

**Asunto:** Justificación técnica de la necesidad de colocación de una losa de concreto como sustentación al sistema de vía en el tramo subterráneo de la Línea 12 del metro (Atlalilco – Mixcoac).

**Referencia:** Rehabilitación y Refuerzo de L12

#### NOTA INFORMATIVA

**Con respecto al tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro (Atlalilco – Mixcoac), el STC Metro considera necesaria la construcción de una subbase firme y estable como plataforma de sustentación del sistema de vías en el tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro. Así mismo, es necesario realizar las obras necesarias para mantener estanco el túnel con el sellado de filtraciones y la instalación de un sistema de drenaje como originalmente se proyectó.**

Esto en función de las siguientes conclusiones:

- 1) Que el tramo subterráneo presenta: constantes dificultades para mantener el perfil de vía; humedad, contaminación y degradación de balasto; filtraciones; y corrosión en soportaría, rieles y fijaciones. La problemática anterior se deriva de la solución implementada de sub-base de sustentación (terracería a base de arena y grava) y drenaje (línea de tubería a base de PVC perforado).
- 2) Que el proyecto aprobado preveía soluciones de sustentación y drenaje diferentes: losa de sustentación y drenaje lateral inserto en una losa, respectivamente.
- 3) Que la base de sustentación a base de terracería conformada con grava y arena no cuenta con las propiedades de compresión, resistencia a la deformación acumulada y sustentación estable de vía, debido al material del cual se conforma y la presencia de humedad en ésta.
- 4) Que los estudios de *Especificaciones para el Proyecto y construcción de las líneas de Metro de la Ciudad De México (COVITUR, 1987) e Ingeniería Básica (COMINSA, 2007-2011)*, contemplaban la necesidad de contar con una losa de concreto como plataforma de sustentación del sistema de vías de la Línea 12.



- 5) Que es recomendación internacional que para un Sistema de Largo Riel Soldado (LRS), existan las mejores condiciones de sustentación de la vía, evitando así posibles deformaciones.
- 6) Que el Metro ha presentado problemáticas semejantes anteriormente las cuales culminaron en la sustitución de la base de sustentación de la vía por soluciones de losas prefabricadas.

A continuación, presentan los argumentos y evidencias con los que el Sistema de Transporte Colectivo – Metro sustenta el requerimiento descrito anteriormente

### **1. Antecedentes de la construcción de tramos subterráneos en el Metro de la Ciudad de México.**

La red del Sistema de Transporte Colectivo – Metro, desde su inicio de construcción ha tenido tres soluciones de construcción: superficial, elevado y subterráneo; este último tiene dos variantes de solución, en túnel y cajón subterráneo somero.

Estas soluciones estructurales generalmente se han resuelto a base de muros y losas de concreto, esta última como base de sustentación de la vía con tres excepciones: Línea 2 tramo superficial y la Línea 7 en el tramo Aquiles Serdán – El Rosario y recientemente el tramo subterráneo de la Línea 12 (Atlalilco – Mixcoac)

- **En el caso de la Línea 2 en su tramo superficial, de origen se sustentó la vía sobre la terracería de la antigua línea de tranvía que corría por la calzada de Tlalpan.**

En este caso se presentó una grave problemática de estabilidad de la vía ya que se presentaron fuertes deformaciones, mismas que implicaban un mantenimiento continuo e intenso de bateado de balasto para conservar principalmente la rasante y demás condiciones geométricas para para la eficiente operación y seguridad de la línea.

Ante esta problemática, en el año de 1997 el Sistema de Transporte Colectivo formalizó un contrato de prestación de servicios con la **empresa ICA, misma que determinó como solución para corregir los problemas descritos la colocación de una plataforma de sustentación a base de losas prefabricadas**, obras que resolvió la problemática citada.

- **Línea 7 en el tramo -Aquiles Serdán – El Rosario, la vía está sustentada sobre un relleno a base de boleos de roca.**

La Línea 7 no ha presentado problemática en la estabilidad vía.



## 2. Situación de Línea 12.

### -Especificaciones aplicables del proyecto de la Línea 12.

Para el caso de la Línea 12 existe una problemática similar a la que se presentó en la Línea 2 en su tramo superficial, dado que la plataforma de sustentación del sistema de vía se resolvió con un sistema a base de terracería conformada con grava y arena.

En las *Especificaciones para el Proyecto y construcción de las líneas de Metro de la Ciudad De México* editada por la entonces Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, en su *volumen 3, Capítulo 3.02.01.004 Colocación de Balasto inciso 004.A* menciona lo siguiente: “La colocación del balasto comprende las actividades necesarias para tender, compactar y nivelar el material pétreo seleccionado que se colocara bajo y entre los durmientes, para transmitir y **distribuir a la losa de apoyo las cargas inducidas por el paso de los trenes**”. Esta especificación fundamenta la especificación del sistema de vía de esta línea, la cual debería instalarse sobre una losa.

Adicionalmente, la recomendación internacional de acuerdo con los documentos es que los sistemas de vía basados en los sistemas de largo riel soldado (LRS) existan las mejores condiciones de sustentación de la vía, evitando así posibles deformaciones.

### **Antecedentes del proyecto.**

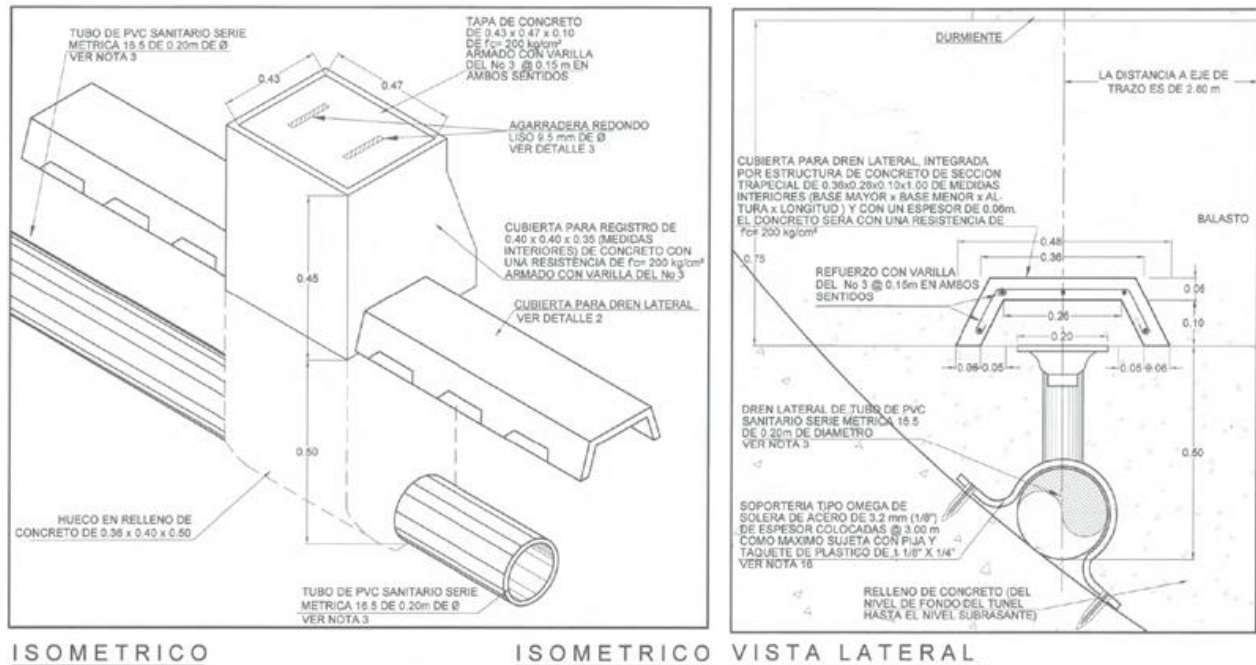
En el año 2007 el Sistema de Transporte Colectivo contrató la *Ingeniería Básica* para la construcción de la línea 12, en dicha ingeniería se consideró la construcción de la línea en solución subterránea somera (COMINSA, 2012). **Así mismo se consideró una sección estructural rectangular de concreto reforzado en losas y muro.**

Sin embargo, esta solución fue cambiada a túnel profundo lo que propicio la necesidad de la colocación de rellenos en la parte inferior del túnel.

Posteriormente, en el *proyecto autorizado* por el organismo contratante y por el consorcio constructor del sistema de drenaje del túnel contempla la colocación de un sistema de drenaje lateral **inserto en una losa** con los diferentes accesorios tales como registros canaletas (tortugas) que permiten un drenaje eficiente del agua producto de las filtraciones a los diferentes cárcamos.



**Detalle de la propuesta de drenaje prevista en el proyecto original de la Línea 12. Solución Propuesta  
(Proyecto Original) tramo subterráneo.**



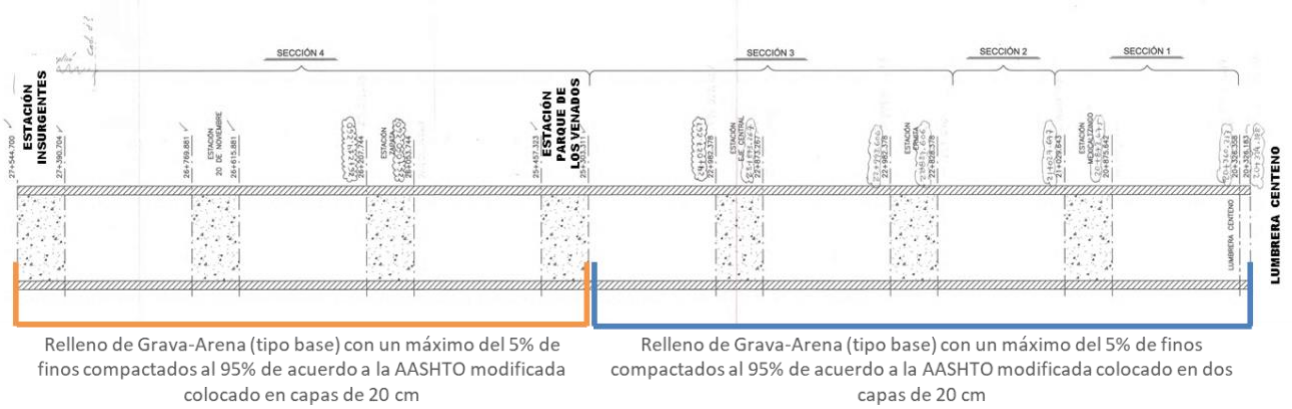
Fuente: Proyecto aprobado de la Línea 12, PMDF

Sin embargo, no se colocó la losa de concreto, en su lugar se colocó una plataforma de sustentación a base de un relleno conformado por grava y arena documentado mediante el Boletín de Obra PMDF-11-EST-6120000-III-0117-50757-B-00. En este Boletín se describe explícitamente las características de dicho relleno, cual debería contar con una compactación al 95% y un máximo de finos del 5%.

Adicionalmente, también se realizó modificación al proyecto del sistema de drenaje concebido en el proyecto original, el cual de acuerdo con los planos *As-Built* se resolvió con una línea de tubería a base de PVC perforado que recolecta el agua producto de filtraciones hacia registros equipados con una bomba que traspalea el agua hacia los cárcamos, con esta solución no se resolvió el problema de drenaje ya que el agua no drena eficientemente y se queda estancada en la terracería.

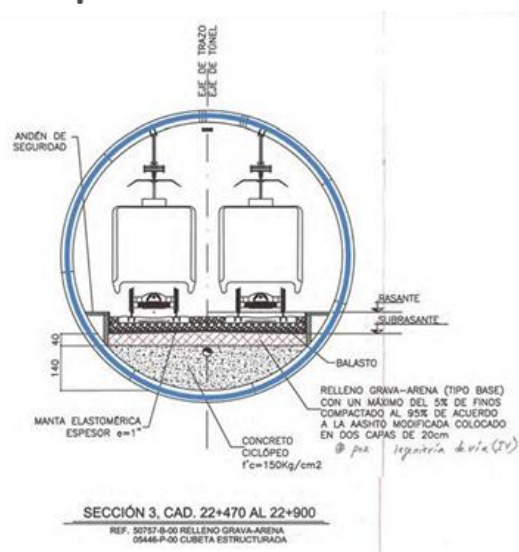
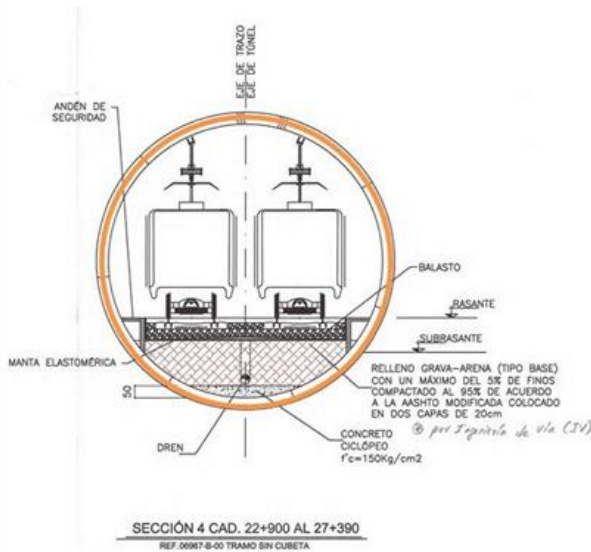


**Localización de espesores de relleno grava-arena y características de drenaje actual.**



**Espesor variable de 140 a 190 cm**

**Espesor de 40 cm**



Fuente: Planos As built, PMDF

Dentro de los *criterios de diseño de un sistema de terracería* para las vialidades el grado de compactación se determina a través del porcentaje de humedad contenido en la terracería y en el caso de la Línea 12 la terracería colocada se encuentra saturada e incluso se puede decir que inundada, lo que ha repercutido en la inestabilidad de la vía. En las evidencias fotográficas se observa las condiciones encontradas en la terracería a treves de calas.



### **Diagnóstico de la situación de la base de sustentación del tramo subterráneo de L12**

Desde la etapa de construcción de la Línea 12 se hicieron evidentes las características del relleno de grava y arena colocado en lugar de concreto ciclópeo especificado en las recomendaciones estructurales. De acuerdo con el subdirector de ingeniería y Proyecto de la PMDF, este relleno ya denotaba las siguientes características fuera de especificación (PMDF, 2011):

*“gran cantidad de boleos (que no favorecen la estabilidad por falta de paredes que permitan la trabazón entre partículas gruesas), y fragmentos de toba cementada, como se puede observar, los fragmentos cementados pueden ser confundidos por gravas con la cementación, pero son frágiles y sensibles a los cambios de humedad y bajo saturación suelen perder el cementante (limo) y desmoronarse ante cargas mínimas.”*

Adicionalmente, la empresa responsable de la supervisión de la obra manifestó que, durante la instalación del relleno, el proyecto de la vía no indicaba que la vía se debe colocar en una base de terracería (CONIISA, 2012)

En el año de 2015 las empresas MEXISTRA y SYSTRA realizó una serie de calas en el tramo de la estación Parque de los Venados a la estación Eje Central, donde obtuvo que los espesores de la capa de terracería varían de 24 a 52 centímetros.

Adicionalmente, se obtuvieron muestras de la terracería, de las cuales analizó el grado de compactación, obteniéndose resultados de hasta 69 % lo que representa un grado de compactación bajo, comparado los que normalmente se especifican para este tipo de relleno, se anexa tabla de resultados:



**Resultados de tipo de relleno y grado de compactación del material de las muestras del tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro**

LOCALIZACIÓN		ESPEORES		No DE CAPAS	RELLENO TIPO DE MATERIAL	MANTA ELASTOMÉRICA S/N
CAD (Km)	LOCALIZACIÓN ( V1 / C / V2 )	BALASTO (cm)	RELLENO (cm)			
24+055	C	81	42	1		N
24+173	C	68	44	1		S
24+273	C	60	45	1		S
24+423	C	62	39	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S
24+579	C	48	46	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S
24+733	C	50	38	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S
24+794	C	59	24	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	N
24+900	V1	77	30	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	N
24+910	C	82	29	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	N
24+920	V2	60	52	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	N
25+000	C	56	39	1		N
25+230	V1	50	25	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S
25+240	C	59	46	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S
25+250	V2	46	29	1	GRAVA SUBANGULOSAS CON ARENA Y POCA ARCILLA	S

CAD (Km)	LOCALIZACIÓN ( V1 / C / V2 )	PROF ( cm )	PVS campo ( t/m <sup>3</sup> )	COMPACTACIÓN ( % )
24+055				
24+173	C	0-10	1.63	83
24+273	C	0-10	1.64	83
24+423	C	0-10	1.54	78
24+579	C	0-10	1.36	69
24+733	C	0-10	1.4	71
24+794	C	0-10	1.82	92
24+900	V1	0-10	1.75	89
24+910	C	0-10	1.74	88
24+920	V2	0-10	1.82	92
25+000				
25+230	V1	0-10	1.61	82
25+240	C	0-10	1.75	89
25+250	V2	0-10	1.48	75

Fuente: MEXISTRA, 2015

También se analizó la granulometría del material de las muestras obtenidas, obteniéndose un porcentaje de fino que varían del 4% al 18 % lo que representa una terracería mal graduada que no cumple con las curvas granulométricas especificadas para este tipo de rellenos, ni con la



especificación del Boletín de Obra PMDF-11-EST-6120000-III-0117-50757-B-00, se anexa tabla de resultados.

**Resultados de granulometría del material de las muestras del tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro**

CAD (Km)	LOCALIZACIÓN ( V1 / C / V2 )	GRAVAS ( % )	ARENAS ( % )	FINOS ( % )	CLASIFICACIÓN
24+055					
24+173	C	87	8	5	GRAVA BIEN GRADUADA (GW)
24+273	C	65	26	9	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+423	C	75	20	5	GRAVA BIEN GRADUADA (GW)
24+579	C	63	31	6	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+733	C	66	25	9	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+794	C	63	30	7	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+900	V1	64	24	12	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+910	C	57	33	10	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
24+920	V2	69	22	9	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
25+000					
25+230	V1	81	15	4	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
25+240	C	59	23	18	GRAVA MAL GRADUADA (GP)
25+250	V2	56	27	17	GRAVA MAL GRADUADA (GP)

Fuente: MEXISTRA, 2015

Los resultados anteriores están contenidos en el informe denominado *DIAGNOSTICO DEL TUNEL DE LA LÍNEA 12, MEXISTRA 2015* con numero de referencia L12-DIAG-VIA-1179.MEX-INF-1 de fecha 07/07/2015 (se anexa copia en archivo electrónico) donde concluye en su página 160 proponen “una rehabilitación de la plataforma y sistema de drenaje con objeto de:

- Tener una buena y perene base de la vía.
- Reducir las cantidades de agua de infiltración.
- Colectar y evacuar el agua que entra al túnel.

Por lo que MEXISTRA recomienda:

- Suprimir la capa de grava y arena.
- Realizar un nuevo sistema de drenaje.
- Reemplazar el balasto (según capítulo 12.4.4.4 del mismo documento)”





Así mismo, durante el mes de julio del 2021 se realizaron recorridos de inspección de las condiciones del tramo subterráneos, así como calas a lo largo de este tramo, en conjunto con la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México el Comité Técnico de Especialistas designado para la evaluación de la situación actual de la Línea 12 y las empresas responsables de la construcción de la Línea 12.

Los recorridos confirmaron las situaciones descritas y dictaminadas anteriormente en este documento:

- 1) Características insuficientes del sistema de drenaje.
- 2) Presencia de filtraciones en la estructura del túnel, que contamina el balasto y degrada durmientes, rieles y fijaciones.
- 3) Corrosión en soportes de la catenaria rígida, soportes de charolas, soportes de la tubería y en la propia tubería de la red contra incendios.
- 4) Dificultad para conservar la geometría de la vía.
- 5) Calidad del balasto, degradación y contaminación del balasto actual.

Las imágenes a continuación muestran las situaciones descritas anteriormente.

**Estado actual del sistema de drenaje del tramo subterráneo de la Línea 12.**

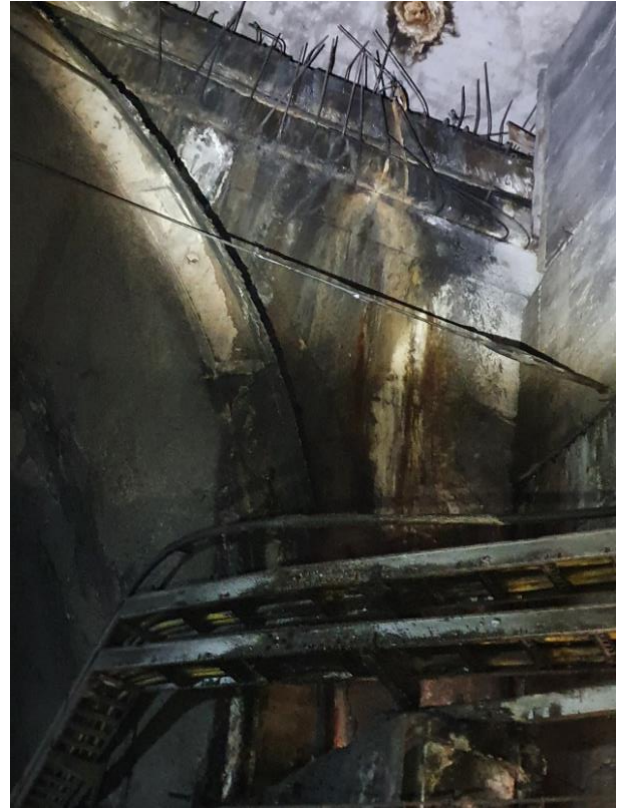
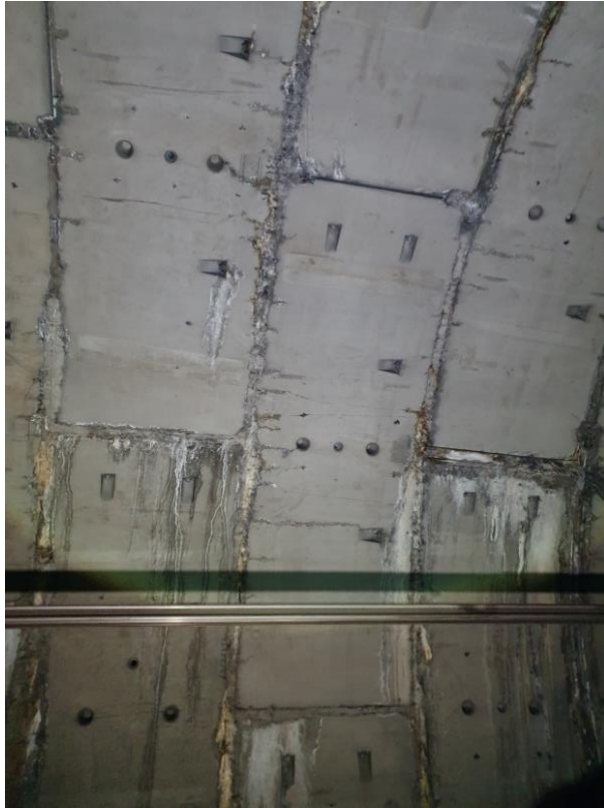




*Fuente: STC Metro, 2021*



**Filtración de agua a lo largo del tramo en la unión de las dovelas**



*Fuente: Archivo STC Metro y CTRR, 2021*

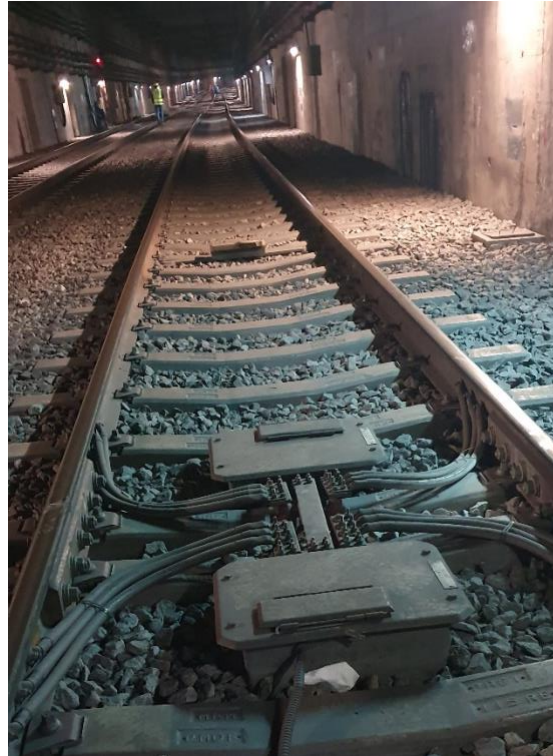
**Evidencia de corrosión en rieles y soportaría provocada por filtraciones**



*Fuente: Archivo STC Metro y CTRR, 2021*



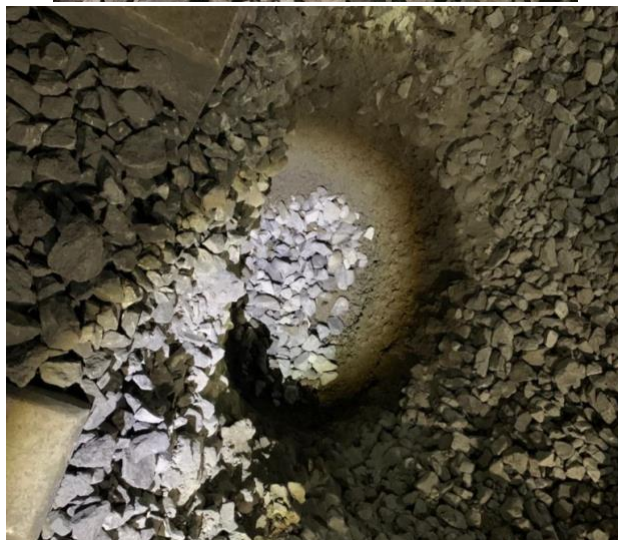
**Vía desalineada y desnivelada con asentamientos diferenciales**



*Fuente: Archivo STC Metro y CTRR, 2021*

**Ilustración 1 Balasto fuera de especificación, con humedad permanente, degradado y fuera de granulometría**





*Fuente: Archivo STC Metro y CTRR, recorrido 16 de julio de 2021*



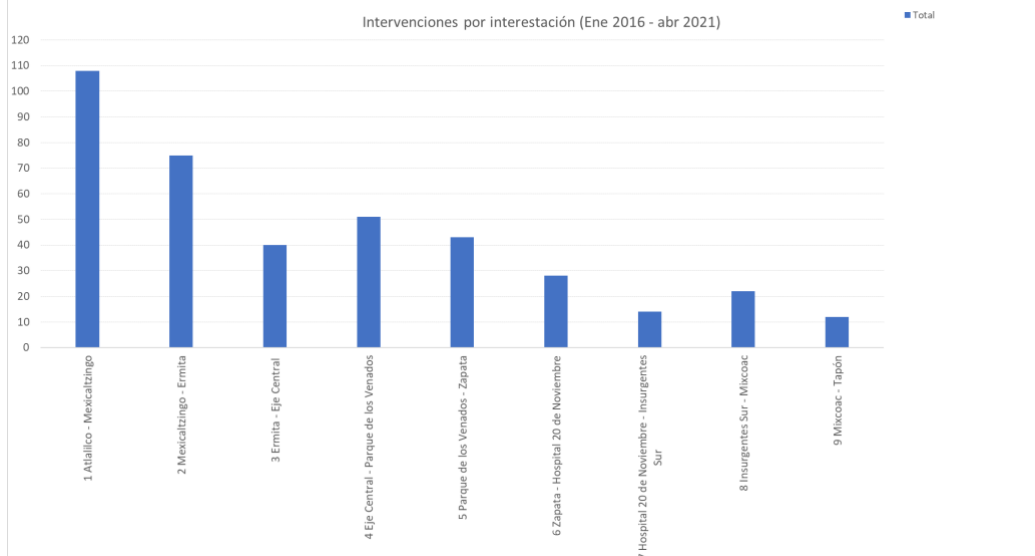
**Comportamiento de la vía**

A lo largo del periodo de operación de la Línea 12 se han presentado problemas de estabilidad de la vía en el tramo subterráneo, derivando en un intenso mantenimiento para restituir sus parámetros geométricos y tener una operación de la Línea 12 eficiente y segura.

Anexo al presente se anexan tabla y grafico donde de indican la cantidad de intervenciones realizadas a la vía en el tramo subterráneo.

**Actividades de mantenimiento correctivo en las instalaciones de vías de la Línea 12 (Tramo en túnel):  
Intervenciones de mantenimiento consistentes en: Aplicación puntual de balasto, Bateo de vía con equipo manual, Correcciones de trazo y perfil con máquina Multicalzadora y Perfilado de balasto; en el tramo túnel y clasificadas por interestación en el periodo comprendido de enero de 2016 a abril de 2021**

Interestación	Intervenciones
1 Atlalilco - Mexicaltzingo	108
2 Mexicaltzingo - Ermita	75
3 Ermita - Eje Central	40
4 Eje Central - Parque de los Venados	51
5 Parque de los Venados - Zapata	43
6 Zapata - Hospital 20 de Noviembre	28
7 Hospital 20 de Noviembre - Insurgentes Sur	14
8 Insurgentes Sur - Mixcoac	22
9 Mixcoac - Tapón	12
<b>Total de intervenciones</b>	<b>393</b>



Fuente: TSO, 2021





### **Características del sistema “Largo Riel Soldado”**

Desde principios del siglo pasado se comenzó a desarrollar el llamado Sistema de Largo Riel Soldado para las vías férreas, se desarrolló el principio matemático y fue toda una novedad, aunque uno de los principales obstáculos a los que se enfrentó fue el pobre desarrollo de los elementos de fijación. A partir de los años 60's se empezaron a dar las primeras experiencias en el campo de las fijaciones elásticas, siendo Europa pionera en este campo. En 1975 los Ferrocarriles Japoneses pone en servicio el primer tren de alta velocidad, el famoso Shin-Kan-Sen (tren bala), el cual alcanza una velocidad de 200 km/h. En este proyecto se realizaron las primeras aplicaciones de un sistema de vía con fijaciones elásticas y el desarrollo de cambio de vía integrados al Sistema Largo Riel Soldado. En 1990 los Ferrocarriles de Francia ponen en servicio la Línea TGV Atlántico con trenes que circulan a una velocidad de 300 Km/hr, y además impone un record de velocidad implantando (501 Km./hr).

Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Ahorro en juntas y pernos o tornillería
- Ahorro en puentes eléctricos para el funcionamiento de los circuitos de vía.
- Mayor vida útil de los rieles
- Menores gastos de conservación
- Menor resistencia a la rodadura
- Mayor vida útil de las ruedas del material rodante
- Mayor vida útil de los durmientes, especialmente los de concreto.

Para lograr el correcto funcionamiento de este sistema del LRS es necesario contar con las siguientes características:

- Plataforma libre y estable.
- Balasto de alta calidad y granulometría homogénea.
- Durmientes acordes al proyecto, si son de concreto, la fabricación debe apegarse a un estricto control geométrico.
- Sistema de fijación elástica de rieles de alta calidad, de colada continua.
- Uniones soldadas con equipo mecanizado
- Esmerilado mecanizado de rieles.
- Alineación y Nivelación de Vías con Equipo Mecanizado



**Conclusiones y requerimientos desde el punto de vista de Sistema de Transporte Colectivo Metro.**

Con base en con base en los estudios y recomendaciones realizadas por la empresa MEXISTRA/SYSTRRA en el año de 2015, las especificaciones originales solicitadas para la Línea 12 Tláhuac – Mixcoac, los diversos documentos que evidencian las condiciones de compactación y humedad inadecuadas del relleno de grava y arena y los costos excesivos que se requieren para mantener la geometría de la vía para brindar un servicio eficiente y seguro a los usuarios que la utilizan, este Sistema de Transporte Colectivo – Metro, **considera necesario de la construcción de una losa de concreto como plataforma de sustentación del sistema de vías en el tramo subterráneo de la Línea 12 del Metro, así mismo realizar las obras necesarias para mantener estanco el túnel con el sellado de filtraciones y la instalación de un sistema de drenaje como originalmente se proyectó.**



**Anexo documental en archivo electrónico.**

- *Especificaciones para el Proyecto y construcción de las líneas de Metro de la Ciudad De México, Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, Volumen 3, Distrito Federal, 1987*
- *Informe técnico final del apoyo Geotécnico para la ingeniería básica de la Línea 12 del Metro, COMINSA, Distrito Federal, 2011.*
  - *Planos en archivo electrónico del proyecto geométrico de la ingeniería básica, Contratado por Sistema de Transporte Colectivo Metro, COMINSA 2007- 2011.*
- *Proyecto autorizado para implementación de la Línea 12, PMDF, SOS, Distrito Federal.*
- *Boletín de Obra PMDF-11-EST-6120000-III-0117-50757-B-00, PMDF, Secretaría de Obras y Servicio, Distrito Federal, 2011.*
- *Oficio No. CONIISA/PMDF/L12/GS/0075/12, CONIISA, Distrito Federal, 2011*
- *Oficio No. GDR/SOS/PMDF/DDOS/SIP/363-11, PMDF, SOS, Distrito Federal, 2011*
- *Planos As built de construcción de la Línea 12 del Metro, PMDF, SOS, Distrito Federal, 2013.*
- *Diagnóstico Del Túnel De La Línea 12 con numero de referencia L12-DIAG-VIA-1179.MEX-INF-1, MEXISTRA – SYSTRA, 2015.*
- *Intervenciones realizadas a la vía desde 2016-2021 (tabular), TSO, 2021.*