



CIUDAD DE MÉXICO LÍNEA 12





Características Generales de la Línea y Trenes

La Línea 12 fue construida por el Consorcio conformado por ICA, CARSO y ALSTOM y el administrador del contrato fue el organismo Proyecto Metro del Distrito Federal.

Se inauguró el 30 de octubre de 2012 con un parque vehicular de 18 trenes modelo FE10, de fabricación española, suministrados por la empresa Constructora y Auxiliar de Ferrocarril (CAF), a través de su filial Provetren S.A. de C.V, mediante un contrato de Prestación de Servicios firmado en 2010 con el Sistema de Transporte Colectivo. Gradualmente se incorporaron 12 trenes más.



Características Generales de la Línea y Trenes

La Línea cuenta con 20 estaciones y tiene una longitud total de 24.5 kilómetros, 11 de los cuales están sobre viaducto elevado.

Tiene 9 estaciones elevadas, 9 estaciones subterráneas y 2 superficiales.

El trazo de la Línea 12 cuenta con un total de 66 curvas de las cuales 15 tienen un radio menor a 350 metros y de éstas, dos tienen radios menores a 200 metros.



Características Generales de la Línea y Trenes

El parque de material rodante que circula en la Línea 12 se constituye de 30 trenes FE10, que tienen las siguientes características:

- Están constituidos de 7 carros con una longitud total de 141 metros
- La longitud de cada vagón es de aproximadamente 19 metros
- La altura de los vagones es de 3.5 metros
- El ancho de los carros es de 2.8 metros
- Un tren vacío tiene un peso de aproximadamente 235 toneladas.



El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

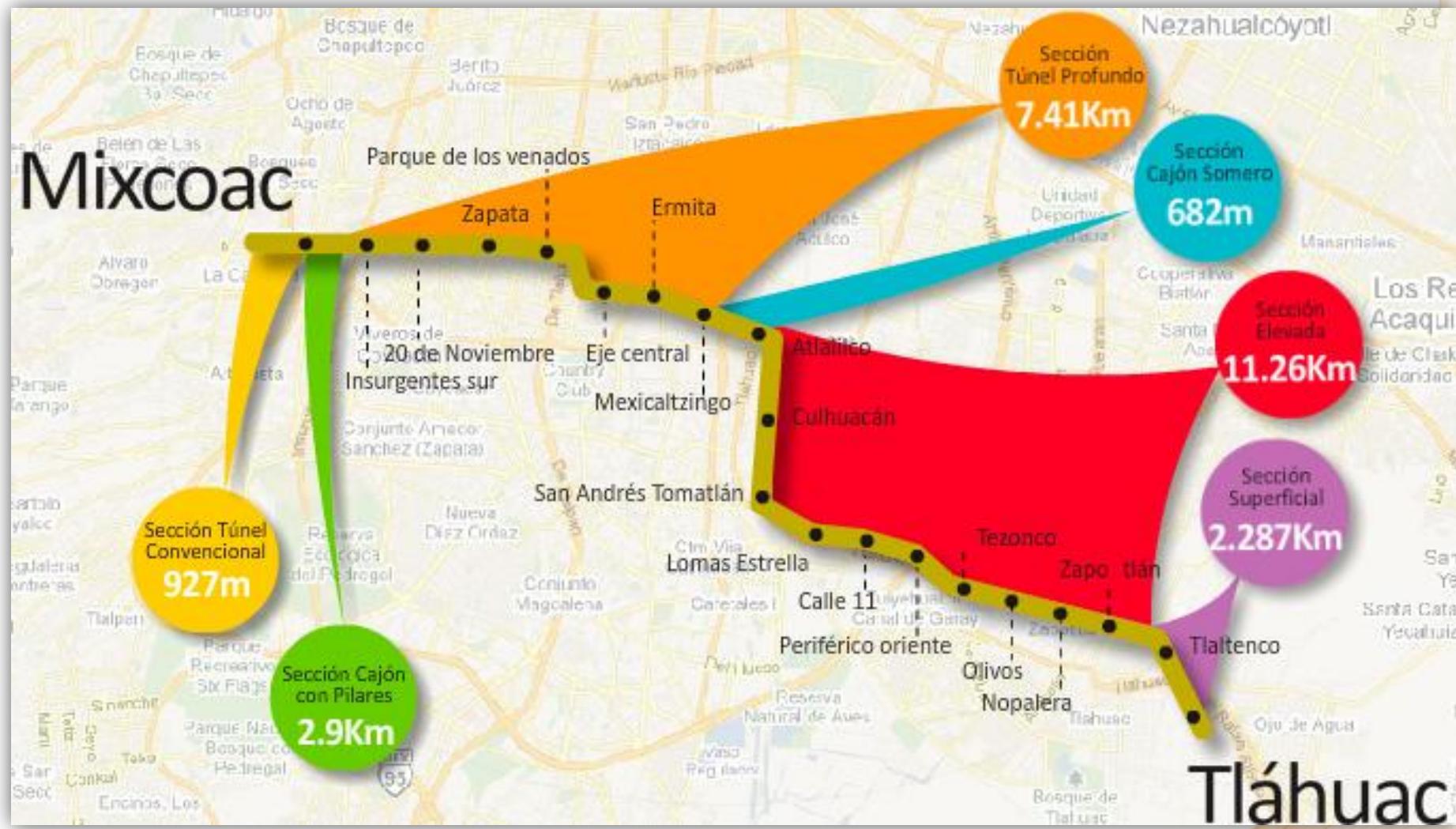
Otros parámetros que se deben tomar en cuenta son que los trenes operados sobre la Línea tienen una distancia entre ejes del bogie de 2.5 metros y el valor de distancia entre ejes de la caja es de 12.6 metros.

Comparación de un tren Férreo de Línea A con respecto a un tren Férreo de Línea 12 FE10



Lo anterior propicia que los bogíes del tren FE10 no se inscriben correctamente en las curvas de radio reducido y aparatos de vía.

Mixcoac







El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

Una vez que se concluyó la construcción y equipamiento de la Línea 12, comenzaron las pruebas con trenes previas a la puesta en servicio.

Seis semanas antes de la inauguración se detectó un desgaste ondulatorio prematuro en algunas zonas de curva, lo que incluso obligó al cambio de 900 metros de riel, en las curvas números 11 y 12.

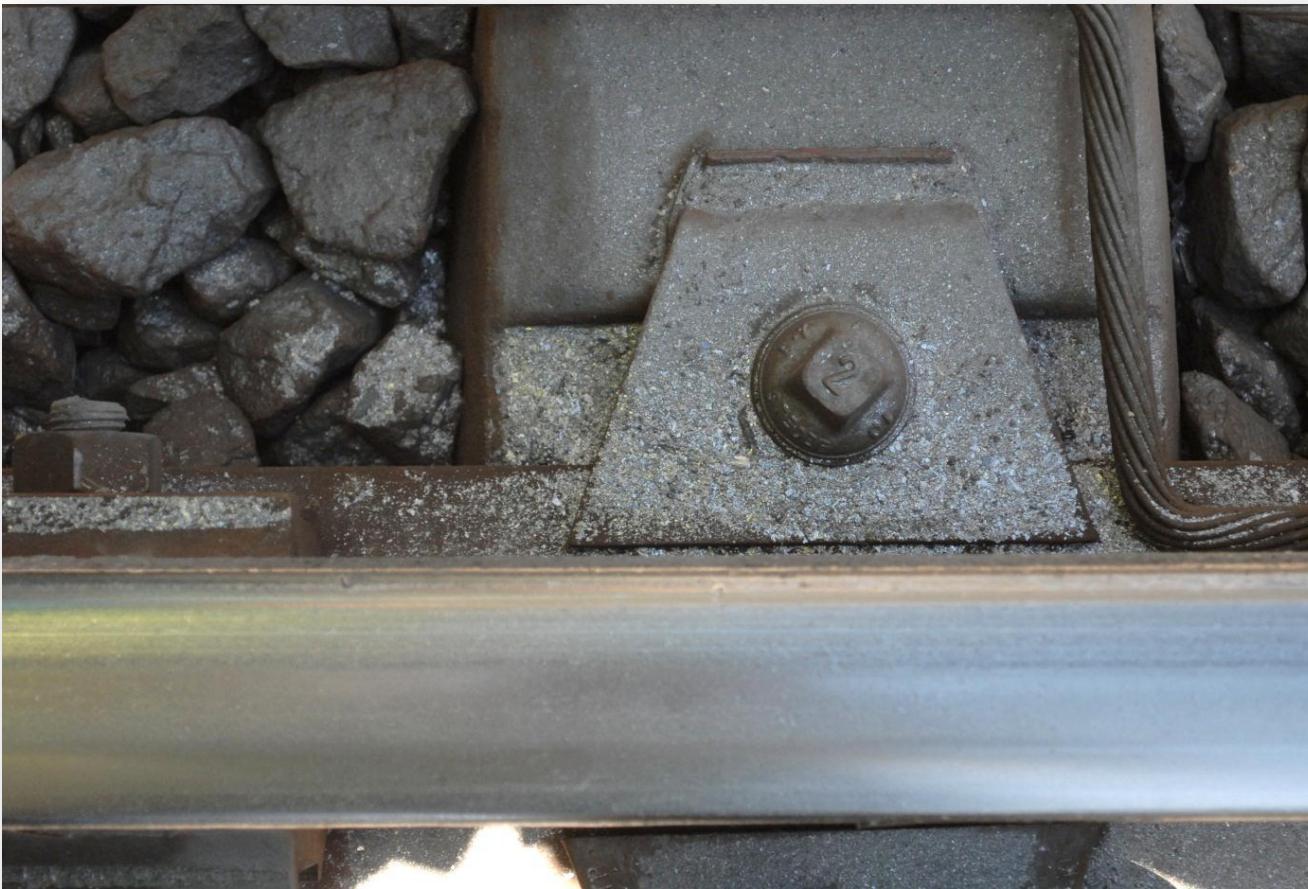
Este desgaste anormal siguió presente desde el inicio de la operación de la Línea y al paso del tiempo se acentuó de manera crítica a pesar de los trabajos que se hicieron para controlarlo.





El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

Durante la operación las fallas se multiplicaron: por ejemplo, hubo durmientes y fijaciones fracturados, con un creciente desgaste ondulatorio del riel, principalmente en curvas de radio reducido, que se volvió exponencial.





1 DURMIENTE FISURADO

1,000 FIJACIONES

**DESGASTE PREMATURO EN ELEMENTOS
DE LOS APARATOS CAMBIO DE VIA**

**4500 DURMIENTES
FRACTURADOS Y FISURADOS**

10,000 FIJACIONES

**SUSTITUCION DE 900 M DE RIEL
(ANTES DE LA INAUGURACION)**



**17 COJINETES FRACTURADOS EN
APARATOS DE DILATACION**

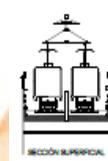
**DESGASTE PREMATURO EN ELEMENTOS
DE LOS APARATOS CAMBIO DE VIA**



ELEVADO



SUPERFICIAL



El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

Junto con la afectación a las vías, se registró el desgaste anormal y acelerado de las ruedas de los trenes, lo cual afectó el funcionamiento y la seguridad de la operación de la Línea.

Por todo ello, el 12 de marzo de 2014 el servicio de pasajeros fue suspendido entre las estaciones de Tláhuac y Atlalilco, que corresponden a las 9 estaciones del viaducto elevado y las dos estaciones superficiales.



El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

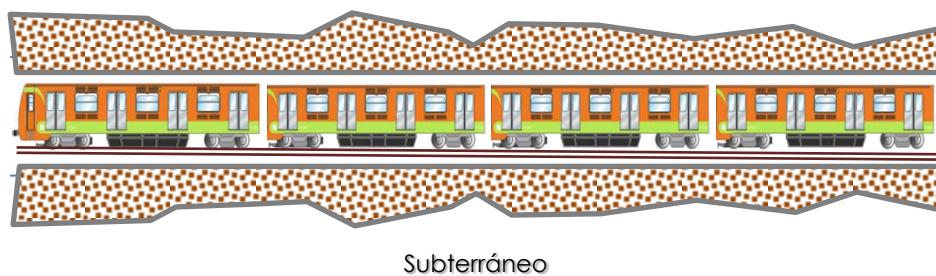
Después del cierre se encargó a la empresa francesa SYSTRA investigar las causas del desgaste ondulatorio. Dicha compañía estableció que el problema se originó por varios factores, principalmente, incompatibilidad entre el riel y la rueda, aunados a la deficiente coordinación entre la entidad que condujo la construcción con la que contrató los trenes, además de fallas desde la fase del trazado de la Línea.





11 Curvas R < 350 m. Tapón (3) – resto (8)

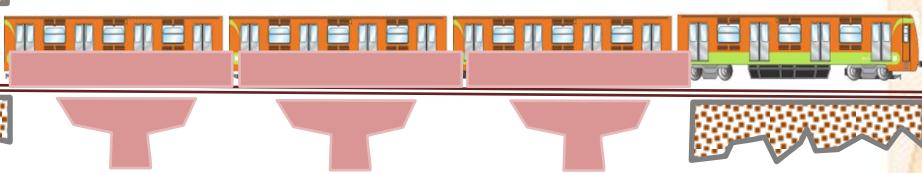
Mixcoac – Atlalilco, 9 Estaciones, 11.4 km.



Operación de tramo con 14 a 16
Trenes

11 Curvas R < 350 m 7 Curvas R < 200 m

Culhuacán - Zapotitlán, 9 Estaciones,
11.5 km.



3 Curvas R < 350 m 2 Curvas R < 110 m

Tlaltenco - Tláhuac,
2 Estaciones, 1.7 km

Tramo en Suspensión del servicio a usuarios del 12 de Mar. al 12 de Sep., según Gaceta Oficial del D.F. del 12 de Marzo de 2014





El excesivo desgaste ondulatorio tiene su origen en el trazo de la línea principalmente por su composición de curvas con radios reducidos a 350 metros.

Los efectos vinculatorios por la interacción de la infraestructura con la operación del material rodante dentro del excesivo desgaste ondulatorio fueron:

- a. **El rompimiento de componentes del sistema de vías (fisura de durmiente, pulverización del balasto, rompimiento de fijaciones y aparatos cambio de vía, así como las marcas del desgaste ondulatorio hasta deformaciones plásticas en el riel).**





- b. La operación del servicio se afectó con la disminución de velocidades por medidas de seguridad (vibraciones y bamboleos), aumentando los intervalos entre estación y estación respecto al polígono de operación. Así como aumentar el número de unidades en mantenimiento y en consecuencia, disminución de unidades en servicio.



- c. la afectación a componentes del material rodante, particularmente en la sección del bogie (perfil de la rueda, mal funcionamiento de las graseras)



d. La conjunción de todas las partes anteriores, obligaron al organismo operador del servicio a suspender el tramo elevado, al contener el mayor número de curvas con radios reducidos a 350 metros e iniciar una serie de análisis de laboratorio de componentes o elementos, estudios físicos y de simulación, hasta el establecimientos de vías de prueba en secciones de la línea para determinar parámetros e indicadores y dictar acciones a emplearse.





El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

El desgaste ondulatorio está presente principalmente en las curvas con radios inferiores a los 350 metros y en los aparatos de cambio de vía. De ello se deduce que el desgaste ondulatorio es producido por el reducido radio de curvatura.

Las simulaciones, los ensayos y la experiencia demuestran que el elemento determinante en la causa del desgaste ondulatorio es la deficiente compatibilidad entre el material rodante de este tipo y la vía con curvas de radios inferiores a los 350 metros.





El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

Los estudios efectuados para conocer las causas del desgaste ondulatorio concluyen que los elementos de rodamiento no se inscriben correctamente en las curvas cerradas. En particular, los ejes no se orientan prácticamente en la curva, y el ángulo resultante, aumentado por la falta de giro del bogie, genera rozamientos y desgastes importantes.

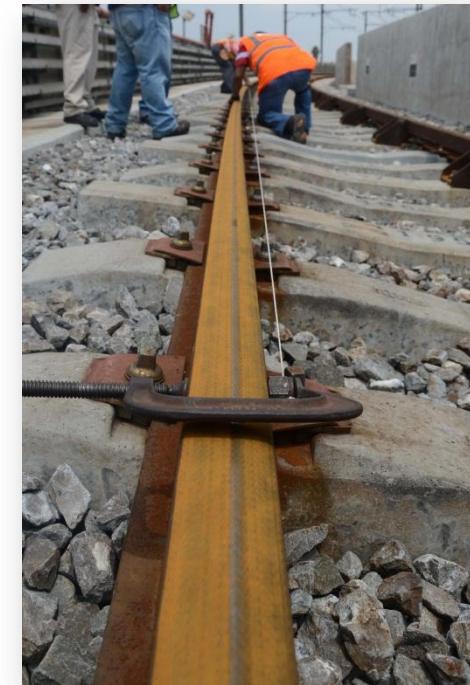
Aunado a lo anterior existe una incompatibilidad de la dureza rueda/riel ya que la rueda es más dura que el riel y esto incrementa el Deterioro de la vía.





El Desgaste Ondulatorio en Línea 12

En cuanto a las demás características de diseño del material rodante, aunque tomados individualmente tengan poca influencia sobre el comportamiento dinámico del tren, la combinación de los elementos escogidos en la especificación y el diseño del material rodante no es la más adecuada y aumenta los esfuerzos de rozamiento transmitido y disipado en la vía, es también otra causa importante del desgaste ondulatorio y deterioro de los elementos de la vía.





SYSTRA entregó a la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal, el documento denominado “Metro de la Ciudad de México, Diagnóstico de la Línea 12, Informe Final”, MEX-S117-REP-0012-B, con las siguientes conclusiones principales:

- La Línea 12 tiene un **trazo que no es el adecuado** se definió siguiendo el trazo de vialidades para automóviles. El 34.8 % de las curvas de la Línea tiene un radio inferior a 350 m y 9.1% lo tienen inferior a 200 m. Redes tales como la SNCF y RATP **no utilizan este tipo** de radio de curvatura más que de **forma muy excepcional**, ya que la aparición de desgaste ondulatorio es inevitable, aun con material rodante de tipo metro., los peralte son excesivamente altos, sin considerar la cercanía de aparatos de vía o de estaciones, donde los trenes están obligados a reducir la velocidad y los tramos entre curvas de sentido opuesto no respetan las distancias mínimas entre ellas.
- La vía fue diseñada con elementos de características de diseño para líneas tipo tren metropolitano y para un trazo sin curvas de radio reducido. No se tomaron en cuenta las exigencias que impone el trazo adoptado.
- El tren FE-10 no es el adecuado para el trazo de la Línea 12, ya que tiene características más cercanas a las de un tren suburbano; no inscribe correctamente y deteriora en forma acelerada a las instalaciones de la vía, los equipos y al propio tren.



Experiencia

Las experiencias vividas a lo largo de la operación de la Línea 12 han dejado varios aprendizajes:

- Para todo proyecto de metro o de ampliaciones deberá existir un gerente de proyecto que reúna la información de manera integral para resolver los compromisos entre el trazo, diseño de la vía y su compatibilidad con el material rodante, que privilegie las soluciones de largo plazo por encima de la inversión en el corto plazo.
- Los sistemas de metro férreo deben evitar la implantación de curvas con radio menor a 550 m en las vías principales. Únicamente en casos excepcionales e inevitables se podrá considerar la utilización de curvas con radio mínimo de 350 m.
- Se deberá valorar la utilización de riel endurecido con una dureza de 350 HB en las zonas de curva, así como fijaciones elásticas adecuadas.
- Analizar la implantación de peraltes adecuados, con base en cálculos de las aceleraciones transversales no compensadas e insuficiencias de peralte de acuerdo a las condiciones particulares de cada curva.