

# METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO DIAGNÓSTICO DE LA LÍNEA 12

## Conclusiones del Informe de Diagnóstico



## METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

FICHA DE IDENTIFICACIÓN	
Contratante	Gobierno del Distrito Federal – Secretaria de Obras y Servicios
Proyecto	Metro de la Ciudad de México
Estudio	Diagnóstico de la Línea 12
Naturaleza del documento	Conclusiones del Informe de Diagnóstico
Fecha	29/08/2014
Nombre del archivo	Conclusiones del Informe de Diagnóstico de la Línea 12
Referencia	MEX-S117-REP-0012-B
Confidencialidad	
Idioma del documento	Español
Número de páginas	9

## APROBACIÓN

Versión	Nombre	Fonction	Fecha	Visa	Modificaciones
1	Autores: Bernard Gautier Quentin Héraud Pierre Mansoz Alain Moutardier Nieves Penalba Pierre Sautjeau Philippe Vion	Expertos	16/06/2014		Documento de trabajo
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	16/06/2014		
	Autorizado: Colás Martinet	Vice- Presidente América Latina	17/06/2014		
2	Autores: Bernard Gautier Quentin Héraud Pierre Mansoz Alain Moutardier Nieves Penalba Pierre Sautjeau Philippe Vion	Expertos	27/06/2014		Versión final
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	30/06/2014		
	Autorizado: Colás Martinet	Vice- Presidente América Latina	30/06/2014		
3	Autores: Pierre Mansoz Nieves Penalba Pierre Sautjeau	Expertos	29/08/2014		Versión final de las Conclusiones del Estudio de Diagnóstico
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	29/08/2014		
	Autorizado: Colás Martinet	Vice- Presidente América Latina	29/08/2014		

## CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>5</b>
<b>1.1</b>	<b>RESUMEN DE LAS CAUSAS</b>	<b>5</b>
1.1.1	AL NIVEL DE LA VÍA	5
1.1.1.1	Causas en la planeación y diseño	5
1.1.1.2	Puesta en obra de la vía	5
1.1.1.3	Calidad de los componentes de la vía	6
1.1.1.4	Mantenimiento de la vía	6
1.1.2	AL NIVEL DEL MATERIAL RODANTE	6
1.1.2.1	Defectos de diseño de los trenes	6
1.1.2.2	Defectos de mantenimiento de los trenes	7
1.1.3	AL NIVEL DE LA OPERACIÓN	7
1.1.3.1	Defectos de diseño	7
1.1.3.2	Reducciones de velocidades	7
1.1.3.3	Mal funcionamiento del sistema de lubricación	7
1.1.3.4	Rotación de los trenes	7
<b>1.2</b>	<b>SÍNTESIS DEL DIAGNÓSTICO</b>	<b>8</b>
<b>1.3</b>	<b>ACCIONES CORRECTIVAS</b>	<b>9</b>

## 1. CONCLUSIONES

### 1.1 Resumen de las causas

Finalmente, el análisis realizado por SYSTRA permite concluir que se ha llegado a la situación actual por diversas causas a diferente nivel:

#### 1.1.1 Al nivel de la vía

##### 1.1.1.1 Causas en la planeación y diseño

- El trazo del viaducto contiene 15 curvas de radio inferior a los 350 m de un total de 36
  - ➔ *El elemento determinante en la causa del desgaste ondulatorio es la dificultad para un tren de inscribirse correctamente en curvas de radios inferiores a los 350 m.*
- En las curvas 1 y 2 con radio de 100 m no se empleó una técnica adecuada como la que define la norma internacional (UIC-710) en lo relativo a la aplicación de un sobre ancho
  - ➔ *Deterioro de estas curvas generado por problemas de inscripción de los bogies.*
- Los peraltes utilizados de 160 mm, aunque está dentro de norma, no son adecuados en el viaducto ya que generan una altura de balasto excesiva.
  - ➔ *Dificultad de mantener una correcta nivelación.*
- Fijaciones de los rieles con aislador no adaptados al riel RE115 empleado
  - ➔ *Desgaste prematuro del aislador*
- Especificación de la instalación de un contra-riel que no es necesario y no permiten un mantenimiento correcto.
  - ➔ *Generación de problema de nivelación.*

##### 1.1.1.2 Puesta en obra de la vía

- Las soldaduras no han sido realizadas de acuerdo a las normas y los procedimientos establecidos por el fabricante de las herramientas para realizar las soldaduras.
  - ➔ *Generación de impactos en las ruedas, que genera problemas de nivelación y desgaste de las soldaduras.*
- La liberación de esfuerzos en los largos rieles soldados (LRS) no se llevó a cabo de acuerdo a los procedimientos establecidos. Además, la metodología utilizada no garantiza una liberación de los LRS de calidad.
  - ➔ *Generación de problemas de nivelación.*

- Debido a la construcción de un muro central estructural, no permite ajustar el trazo de la vía  
→ *Generación de problema de gálibo.*

### 1.1.1.3 *Calidad de los componentes de la vía*

- El balasto empleado, aunque cumple con la norma contractual, no es de calidad adecuada para esta Línea, de acuerdo con la normativa internacional UNE-EN-13450.  
→ *Deterioro de la nivelación.*
- Problema de calidad del concreto en los durmientes tipo PRET que obligó a un cambio masivo de alrededor de 12.000 durmientes.  
→ *Deterioro de la nivelación.*

### 1.1.1.4 *Mantenimiento de la vía*

- Durante la construcción y después de la puesta en servicio, el compactado del balasto no fue adecuado ya que no fue realizado uniformemente de forma mecanizada  
→ *Generación de problema de nivelación y de problema de mezcla de los tipos de balastos.*
- Tardía atención para controlar el desgaste ondulatorio prematuro mediante el amolado o esmerilado  
→ *Generación del desgaste ondulatorio exponencial.*

## 1.1.2 **Al nivel del material rodante**

### 1.1.2.1 *Defectos de diseño de los trenes*

- Vibraciones de los ejes a una frecuencia de 94Hz  
→ *Generación de desgaste ondulatorio.*
- Problema de bogíes que no se inscribe correctamente en las curvas de radio reducido y aparatos de vía  
→ *Generación del desgaste ondulatorio exponencial y esfuerzos anormales en la vía.*
- Problema del sistema de lubricación que no respeta las normas, ya que el lubricador no se encuentra ubicado de acuerdo con la norma  
→ *El lubricador no lubrica en el punto indicado. Esto genera problemas sobre el desempeño de frenado.*
- Incompatibilidad de la dureza rueda/riel ya que la rueda es más dura que el riel  
→ *Deterioro de la vía.*

## 1.1.2.2 Defectos de mantenimiento de los trenes

- El re-perfilado de las ruedas no se realizó oportunamente de acuerdo al desgaste prematuro presentado
- ➔ *Deterioro de la vía y desgaste exponencial de las ruedas*

## 1.1.3 Al nivel de la operación

### 1.1.3.1 Defectos de diseño

- Problema de compatibilidad peralte/velocidad en las curvas especificadas en la tabla 11 del apartado 3.3.1.2
- ➔ *Deterioro de la vía y de los trenes*

### 1.1.3.2 Reducciones de velocidades

Este punto es especial: por razón de seguridad, las reducciones de velocidades fueron inevitables teniendo en cuenta los desgastes en los trenes y la vía. Sin embargo, las reducciones de velocidades agravaron la problemática de la Línea.

- ➔ *Deterioro acelerado de la vía y de los trenes*

### 1.1.3.3 Mal funcionamiento del sistema de lubricación

Debido a los problemas de deslizamiento en frenado generado por el incorrecto punto de inyección, así como a la sobre-lubricación que causó contaminación de la mesa de rodadura del riel, y a la no obtención de una solución al problema desde la puesta en servicio, se decidió suprimir el sistema de lubricación.

- ➔ *Esto aumentó fuertemente los esfuerzos en el contacto rueda/riel, acelerando el deterioro del tren y de la vía.*

### 1.1.3.4 Rotación de los trenes

Con el fin de lograr un desgaste uniforme en las ruedas de ambos lados del tren, se procedió a rotar el sentido de avance del tren con una prioridad de 3 días. Esta operación no se realizó oportunamente, por lo que generó deformaciones mediante este sistema de rotación, obligando a un re-perfilado de las ruedas.

- ➔ *Disminuyendo considerablemente de la vida útil de las ruedas, deterioración de los aparatos de dilatación y aparatos de vía.*

## 1.2 Síntesis del Diagnóstico

Los diferentes componentes de la vía (rieles, durmientes, sistema de fijación) tomados individualmente, están conformes a las normas internacionales, con la excepción del balasto, el cual cumple con la norma contractual. Sin embargo, se encuentran en los límites de las tolerancias permitidas por dichas normas.

Las rupturas de ciertos componentes son la consecuencia del desgaste ondulatorio o de defectos de construcción de la vía o de una combinación de ambos.

La calidad geométrica de la vía es irregular. Los levantamientos demuestran los defectos de nivelación longitudinal y transversal de la vía y la deficiente calidad geométrica y metalúrgica de las soldaduras. El reemplazo masivo de los durmientes en ciertas zonas tuvo, igualmente, efectos sobre el deterioro de la geometría.

El desgaste ondulatorio está presente principalmente en las curvas con radios inferiores a los 350m y en las vías desviadas de aparatos. De ello se deduce que el desgaste ondulatorio es producido por el reducido radio de curvatura ya que es el único parámetro común entre ambas configuraciones: los aparatos se colocan sin peralte y se recorren a una velocidad reducida.

En cuanto a los parámetros 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 transmitidos y disipados en la vía, es también otra causa importante del desgaste ondulatorio y deterioro de los elementos de la vía.

De hecho, las simulaciones, los ensayos y la experiencia, demuestran que el elemento determinante en la causa del desgaste ondulatorio es la deficiente compatibilidad entre material rodante de este tipo y curvas de radios inferiores a los 350 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. De igual modo, cuando se utilizan este tipo de radios de curvatura, es primordial implementar un plan de mantenimiento adaptado, con el fin de controlar la aparición y la evolución del desgaste ondulatorio.

El diseño, la realización y la calidad de los materiales de la vía no permiten absorber las energías que aparecen durante la operación de los trenes en la Línea 12, lo que genera rápidamente deterioros al nivel del equipamiento de la vía.

La velocidad, la calidad baja del balasto de caliza, el peralte pronunciado y la calidad irregular de la geometría de la vía son factores agravantes y no son la causa de la aparición del desgaste ondulatorio.

En relación con la infraestructura civil, el comportamiento de las obras en el tramo en viaducto es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes por problemas estructurales.



SYSTRA confirma que el origen principal de los desgastes es un problema del trazo de la vía combinado con las características del material rodante FE10, las cuales aumentan los esfuerzos de rozamiento transmitidos a la vía.

La ausencia de gestión de las interfaces entre los sistemas material rodante y vía, ha causado que no se haya previsto que el material rodante escogido crearía esfuerzos en la vía que no podrían ser asumidos por esta. Por ello, el diseño de la vía no ha podido adaptarse a los esfuerzos excesivos generados por el tren, los cuales, sumados a defectos de construcción de la vía, no han permitido un mantenimiento adecuado desde el inicio de la operación de la Línea para poder controlar el desgaste ondulatorio previsible.

### **1.3 Acciones correctivas**

SYSTRA entrega junto a este informe el documento “Acciones Correctivas de la Línea 12”, en cumplimiento a la etapa 2 de su prestación de servicio. El objetivo de las acciones correctivas es controlar el desgaste ondulatorio para poder restablecer el servicio en condiciones de seguridad y con unos costos de mantenimiento razonables. Las acciones correctivas serán dirigidas a:

- **Reducir la energía disipada en la vía,**
- **Reforzar la vía para absorber mejor las energías.**