Metro de la Ciudad de México 29/08/2014

Referencia MEX-S117-REP-0015-B

METRO DE LA CIUDAD DE MEXICO

ACCIONES CORRECTIVAS DE LA LÍNEA 12

Definición de las medidas correctivas a implementar

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS

SYSTRA

METRO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

FICHA DE IDENTIFICACIÓN	
Contratante	Ciudad de México –Secretaria de Obras y Servicios
Proyecto	Metro de la Ciudad de México
Estudio	Acciones correctivas de la Línea 12
Naturaleza del documento	Definición de las medidas correctivas a implementar
Fecha	29/08/2014
Nombre del archivo	Informe final de acciones correctivas línea 12 – V4
Referencia	MEX-S117-REP-0015-B
Confidencialidad	
Idioma del documento	Español
Número de páginas	33

SYSTRA • société anonyme à directoire et conseil de surveillance
CS 41594 • 72 rue Henry Farman • 75315 PARIS CEDEX 15 • FRANCE • Tél +33 1 40 16 61 00 • Fax +33 1 40 16 61 04
Capital social: 27 283 102 € • 387 949 530 RCS PARIS • Code APE 7112B • TVA FR 1938794530

SYSTRA

APROBACIÓN

Versión	Nombre	Función	Fecha	Visa	Modificaciones
1	Autores: Pierre Mansoz Antoine Marot Nieves Peñalba Pierre Sautjeau	Expertos	17/07/2014		
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	18/07/2014		
	Autorizado: Colas Martinet	Vice-Presidente América Latina	19/07/2014		
2	Autores: Pierre Mansoz Antoine Marot Nieves Peñalba Pierre Sautjeau	Expertos	31/07/2014		
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	31/07/2014		
	Autorizado: Colas Martinet	Vice-Presidente América Latina	31/07/2014		
3	Autores: Pierre Mansoz Antoine Marot Nieves Penalba Pierre Sautjeau Jose Casado	Expertos	20/08/2014		
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	20/08/2014		
	Autorizado: Colas Martinet	Vice-Presidente América Latina	20/08/2014		
4	Autores: Pierre Mansoz Antoine Marot Nieves Peñalba Pierre Sautjeau Jose Casado	Expertos	29/08/2014		
	Verificador: Serge Bourdin	Director de proyecto	29/08/2014		

SYSTRA

	Autorizado: Colas Martinet	Vice- Presidente América Latina	29/08/2014

SYSTRA • société anonyme à directoire et conseil de surveillance
CS 41594 • 72 rue Henry Farman • 75315 PARIS CEDEX 15 • FRANCE • Tél +33 1 40 16 61 00 • Fax +33 1 40 16 61 04
Capital social: 27 283 102 € • 387 949 530 RCS PARIS • Code APE 7112B • TVA FR 1938794530

CONTENIDO

1.	**INTRODUCCIÓN**	**9**
2.	**OBJETIVO**	**10**
3.	**REFERENCIAS**	**10**
3.1	**LISTA DE ABREVIATURAS**	**10**
3.2	**LISTA DE TEXTOS DE REFERENCIA**	**11**
3.2.1	NORMAS EUROPEAS	11
3.2.2	NORMAS NORTEAMERICANAS	11
3.2.3	NORMAS DE LA UNIÓN INTENACIONAL DE FERROCARRILES (UIC)	12
3.2.4	NORMAS FRANCESAS	13
3.2.5	OTROS TEXTOS DE REFERENCIA	13
4.	**VIA FÉRREA**	**14**
4.1	**TRAMOS EN RECTA Y CURVAS DE RADIO > 800 M**	**14**
4.1.1	LISTA DE CURVAS CON R > 800 M (17 CURVAS EN EL VIADUCTO ELEVADO):	14
4.1.2	ACCIONES A REALIZAR:	15
4.1.3	CASOS PARTICULARES:	15
4.1.3.1	Balasto:	15
4.1.3.2	Sistema de fijaciones:	16
4.2	**CURVAS DE RADIO COMPRENDIDO ENTRE 800 M Y 550 M**	**16**
4.2.1	LISTA DE CURVAS CON RADIO ENTRE 800 M Y 550 M:	16
4.2.2	ACCIONES A REALIZAR:	16
4.3	**CURVAS DE RADIO ≤ 550 M**	**16**
4.3.1	LISTA DE CURVAS CON RADIO ≤ 550 M (15 CURVAS):	16
4.3.2	ACCIONES A REALIZAR:	17
4.4	**CURVAS 1 Y 2 DE TLAHUAC (R < 190M)**	**17**
5.	**APARATOS DE VÍA**	**18**
6.	**CATENARIA**	**18**
6.1	**TRAMOS EN RECTA Y CURVAS DE RADIO > 800 M**	**18**
6.2	**CURVAS DE RADIO COMPRENDIDO ENTRE 800 M Y 550 M**	**18**
6.3	**CURVAS DE RADIO ≤ 550 M**	**19**

6.4	CURVAS 1 Y 2 DE TLAHUAC	19
7.	SEÑALIZACION	19
8.	MATERIAL RODANTE	19
9.	OBRA CIVIL EN EL TRAMO ELEVADO	20
10.	SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS	20
ANEXOS	21	
A1:	TRAZADO DE LA VIA	22
A1.1	EJE EN PLANTA	22
A1.2	PROYECTO DE REHABILITACION DEL PERFIL LONGITUDINAL	22
A1.2.1.	OBJETIVO DEL ESTUDIO	22
A1.2.2.	DOCUMENTOS DE REFERENCIA	22
A1.2.3.	NORMAS DE TRAZADO DEL PERFIL LONGITUDINAL	22
A1.2.4.	ESTUDIO DEL TRAZADO DE LA VIA	23
A1.2.4.1.	SITUACION ACTUAL	23
A1.2.4.2.	SITUACION PROYECTADA	23
A1.3	PROYECTO DE LA MODIFICACION DEL PERALTE	24
A2:	ADAPTACION DE LA VELOCIDAD	26
A3:	LISTA DE TRABAJOS Y ESPECIFICACIONES TECNICAS	27
A3.1	INDICACION GENERAL SOBRE LAS ESPECIFICACIONES DE REFERENCIA DEL PROYECTO	27
A3.2	INDICACION SOBRE LA PUESTA EN OBRA	27
A3.3	REQUISITOS SOBRE EL SISTEMA DE CALIDAD	27
A3.4	REEMPLAZO DE LOS DURMIENTES	27
A3.4.1.	LEVANTAMIENTO DE LOS DURMIENTES A REMPLAZAR	27
A3.4.2.	ESPECIFICACIONES DE LA FABRICACION DE LOS DURMIENTES.	28

A3.5	PROCEDIMIENTO DE REEMPLAZO DEL BALASTO Y MODIFICACION DEL PERALTE	28
A3.5.1.	ESPECIFICACIONES BALASTO	29
A3.6	REPARACION DE LAS SOLDADURAS	29
A3.6.1.	LISTA DE LOS TRABAJOS	29
A3.6.2.	ESPECIFICACIONES TECNICAS	29
A3.7	LIBERACION DE LARGOS RIELES SOLDADOS (LRS) Y AJUSTE DE APARATOS DE DILATACION	31
A3.8	NIVELACION GENERAL DE LA VIA	33
A3.9	AMOLADO DEL RIEL.	33

INDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1.	Lista de abreviaturas	10
Tabla 2.	Lista textos referenciales-Europa	11
Tabla 3.	Lista textos referenciales-USA	11
Tabla 4.	Lista textos referenciales-UIC	12
Tabla 5.	Lista textos referenciales-Francesas	13
Tabla 6.	Lista textos referenciales	13
Tabla 7.	Modificación de los peraltes hp	25
Tabla 8.	Adaptación de la velocidad	26

1. INTRODUCCIÓN

La línea 12 del metro de la Ciudad de México fue abierta al público el 30 de octubre del 2012 y es operada con material rodante de tipo ferroviario construido por CAF.

La línea 12 se localiza al sur de la Ciudad de México con dirección Este-Oeste. Tiene una longitud total de vía de 24.5 km, de los cuales 20.28 km son utilizados para servicio de pasajeros, y 11 km corren por viaducto elevado de Zapotitlán a Culhuacán.

Durante la etapa de realización de pruebas previa a la puesta en servicio de la Línea, se empezó a detectar un desgaste ondulatorio prematuro en algunas zonas de curva. Ya en la fase de operación, se detectaron fallas estructurales de la vía, al presentarse en el sistema piezas dañadas (durmientes, fijaciones del riel, ruptura de fijaciones de aparatos de dilatación) y una generalización del desgaste ondulatorio del riel en curvas, acompañado de desgaste anormal de las ruedas de los trenes que afectaron al funcionamiento y la seguridad de la operación de la Línea. Por todo ello, el 12 de marzo del 2014 el servicio de pasajeros fue suspendido entre las estaciones Tláhuac y Atlalilco.

En este contexto, la Secretaria de Obras y Servicios del GDF solicitó una prestación de servicio especializado a SYSTRA para la solución de las fallas de la línea 12.

La prestación de SYSTRA comprende 4 fases:

Etapa 1: Auditoría mediante plano de investigación en "V"

Etapa 2: Formulación de medidas correctivas

Etapa 3: Elaboración del proyecto ejecutivo de las correcciones a implementar

Etapa 4: Asistencia técnica a la puesta en ejecución de las acciones correctivas

Como resultado de la etapa 1 se desprende que: a) existieron defectos de concepción en el Proyecto, principalmente en la integración tren-vía, b) hubo defectos de calidad de algunos elementos de la vía, c) hubo defectos de realización, d) existieron deficiencias en el mantenimiento desde la puesta operación (30 de octubre del 2012) a la suspensión del servicio (12 de marzo del 2014) y falta de gestión adecuada de los problemas detectado y e) se llevaron a cabo acciones necesarias para garantizar la seguridad de la operación que tuvieron como consecuencia acelerar la problemática en vía y tren.

En la medida que se avanzó en los estudios de la etapa 1, se requirió llevar a cabo un programa complementario de ensayos y de simulaciones, el cual fue validado el 12/06/2014. Este programa de ensayos y simulaciones tuvo como objetivo verificar las diferentes hipótesis consideradas, contrastando las medidas tomadas en la vía y en el tren con los resultados de las simulaciones.

El análisis de los estudios que se llevaron a cabo, complementado con los resultados de los ensayos realizados en las curvas 11 y 12 y las simulaciones ha permitido comprender mejor la interacción tren-vía, en particular el comportamiento dinámico y la interfaz rueda-riel, y así poder definir las acciones correctivas necesarias para la rehabilitación de la Línea 12.

Estos estudios técnicos realizados demuestran que el tren no se inscribe correctamente en la vía, y provoca el incremento de los costos de mantenimiento, así como una menor vida útil tanto de los elementos que componen la vía como del propio material rodante.

2. OBJETIVO

El presente informe define un plan de acciones correctivas para el restablecimiento de la funcionalidad y la puesta en marcha de la Línea 12. Este documento es la versión final del informe que SYSTRA que se comprometió a entregar y define los trabajos a realizar.

3. REFERENCIAS

3.1 Lista de abreviaturas

Arema	Norma norteamericana
CR	Contra riel
EN	Norma europea
JAP	Junta aislante pegada
LRS	Largos rieles soldados
MR	Material rodante
Pk	Placa kilométrica
PMDF	Proyecto Metro Distrito Federal
SA	Soldadura aluminotérmica
STC	Sistema de Transporte Colectivo – DF
UIC	Union internationale des chemins de fer – Unión Internacional de Ferrocarriles

Tabla 1. Lista de abreviaturas

3.2 Lista de textos de referencia

3.2.1 Normas Europeas

EN 1 997-1	Eurocode 7 : calcul géotechnique - Partie 1 : règles générales -
EN 1 997-2	Eurocode 7 : calcul géotechnique - Partie 2 : reconnaissance des terrains et essais
EN 13 146-1 à 9	Méthode d'essai pour les systèmes de fixation
EN 13 230 1-2-5	Traverses béton monobloc
EN 13 231-1 à 8	Travaux de voie ballastée - Qualité géométrique de la voie
EN 13 232-1 à 6	Appareils de voie
EN 13 232-8	Appareils de dilatation
EN 13 450	Granulats pour ballast Voies Ferrées
EN 13 481-1 à 7	Systèmes de fixation
EN 13 502	Conicité equivalente
EN 13 674-1	Rails Vignole de masses supérieure ou égale à 46kg/m
EN 13 674-3	Contre Rails
EN 13 715	Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheels. Tread profile
EN 13 803-1	Paramètres de conception du tracé de la voie – Voie courante
EN 13 848-5	Evaluation de la qualité géométrique de la voie
EN 14 363	Railway applications. Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Testing of running behavior and stationary tests
EN 14 730-1-2	Soudure Aluminothermique
EN 50 215	Railway applications. Rolling stock. Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service
EN 15 427+A1	Railway applications. Wheel/rail friction management. Flange lubrication

Tabla 2. Lista textos referenciales-Europa

3.2.2 Normas Norteamericanas

Arema 1997 Volume 1 Track – Chapter 1 Roadway & ballast	2 – Ballast
Arema 2003 Volume 1 Track – Chapter 4	Rails

Tabla 3. Lista textos referenciales-USA

3.2.3 Normas de la Unión Intenacional de Ferrocarriles (UIC)

UIC leaflet	Title
406	Capacity
433	Standard General Conditions (SGC) for the introduction into service and operation of privately owned wagons
453	Procedures for air brake tests effected with a powered unit – Provisions concerning international trains
500	Standardisation of transport stock and components. Principles, procedures, results
505-1	Railway transport stock – Rolling stock construction gauge
506	Rules governing application of the enlarged GA, GB, GB1, GB2, GC and GI3 gauges
510-2	Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning the use of wheels of various diameters
511	Trailing stock – Wheelbase
518	Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality
541-08	Brakes – Regulations concerning manufacture of the different brake parts : Derailment detectors for wagons
541-1	Brakes – Regulations concerning the design of brake components
541-5	Brakes – Electropneumatic brake (ep brake) – Electropneumatic emergency brake override (EBO)
544-1	Brakes – Braking power
544-2	Conditions to be observed by the dynamic brake of locomotives and motor coaches so that the extra braking effort produced can be taken into account for the calculation of the braked-weight
567	General provisions for coaches
600	Electric traction with aerial contact line
608	Conditions to be complied with for the pantographs of tractive units used in international services
615-0	Tractive units – Bogies and running gear – General provisions
615-1	Tractive units – Bogies and running gear – General conditions applicable to component parts
710	Minimum track gauge in curves
715-1	Application of digital track geometry analysis to the planning of tamping and lining/levelling work
715-2	Recommendations for management of rails
716	Maximum permissible wear profiles for switches
730-3	Automatic warning of track maintenance gangs
732	Principles for signaling trains routes using wayside signals
774-1	Recommendations for the fatigue design of railway bridges in reinforced and prestressed-concrete
774-3	Track - bridge Interaction. Recommendations for calculations
794-1	Pantograph/overhead line interaction for DC - electrified railway lines
813	Technical specification for the supply of wheelsets for tractive and trailing stock - Tolerances and assembly
UIC ORE S1002	Standardisation of wheel profile

Tabla 4. Lista textos referenciales-UIC

3.2.4 Normas Francesas

NF-F-03-402	Railway transport equipment. Wheel sets for standard gauge rolling stock. Theoretical wheel profile V of 135 mm.
PR NF-P-18-545	Granulats - Éléments de définition, conformité et codification
IN-0227	Aparatos de dilatación para largo riel soldado

Tabla 5. Lista textos referenciales-Francesas

3.2.5 Otros textos de Referencia

ICA-ALSTHOM-CARSO	Especificación técnica para la ejecución de soldaduras aluminotérmicas en los rieles
ICA-ALSTHOM-CARSO	Especificación técnica para la liberación de esfuerzos en largo riel soldado
ICA-ALSTHOM-CARSO	Manual de mantenimiento de aparatos de dilatación y aparatos de cambio de vía
ICA-ALSTHOM-CARSO	Instrucción técnica para la realineación y renivelación de las vías principales sobre balasto
ICA-ALSTHOM-CARSO	Instrucción técnica para la ejecución de los trabajos de vías
TSO	Informe de control de las soldaduras Línea 12 México
TSO	Informe preliminar de TSO Sobre el diagnóstico de la Línea 12 Bajo el contrato DGOP-AD-L-3-001-14 Control de desgaste de Aparatos de Vía
RAILTECH	Explicación técnica especifica de soldadura aluminotérmica. Procedimiento PLA
PMDF-09-VI.8-612000-III_0023-02853-E-00	Instrucción técnica para la ejecución de los trabaros de vía

Tabla 6. Lista textos referenciales

4. VIA FÉRREA

En el documento de análisis y diagnóstico se han resaltado las diferentes causas y defectos en función de las condiciones del trazo de la vía, definiéndose 4 tipos de configuraciones:

- ***Tramos en recta y curvas de radio > 800 m,***
- ***Curvas de radio comprendido entre 800 m y 550 m,***
- ***Curvas de radio ≤ 550 m,***
- ***Curvas de la vía a taller < 200m. En particular, las curvas 1 y 2 (talleres de TLAHUAC) son objeto de un análisis específico.***

4.1 Tramos en recta y curvas de radio > 800 m

Las partes de la vía con estas características de trazado no están afectadas por el desgaste ondulatorio. Los defectos que se han encontrado son debidos a problemas de construcción y/o a rotura de componentes.

4.1.1 Lista de curvas con R > 800 m (17 curvas en el viaducto elevado):

- 6-1, 6-2
- 8-1, 8-2
- 9-1, 9-2
- 14-1, 14-2
- 18-1, 18-2
- 19-1, 19-2
- 20-1, 20-2
- 21-1, 21-2
- 23-1, 23-2
- 24-1, 24-2
- 25-1, 25-2
- 26-1, 26-2
- 29-1, 29-2
- 31-1, 31-2
- 33-1, 33-2
- 35-1, 35-2
- 36-1, 36-2

4.1.2 Acciones a realizar:

Las acciones correctivas (Especificaciones detalladas en el Anexo 1) que deben empezar a implementarse son:

Acción 1: ***Reemplazo de 68 durmientes rotos o agrietados (corresponde al total del tramo en viaducto),***

Acción 2: ***Arreglo o reemplazo de 3412 soldaduras cuya geometría se encuentre fuera de tolerancia (corresponde al total del tramo en viaducto).***

Acción 3: ***Reemplazo de 954 soldaduras que presenten defectos metalúrgicos (corresponde al total del tramo en viaducto),***

Para las acciones 2 y 3, SYSTRA resalta la gran importancia de realizar estas soldaduras correctamente. Para ello SYSTRA especifica que la soldadura se realice con los rieles rectos, colocándose posteriormente en su posición exacta en la curva, procedimiento que no se cumplió.

Acción 4: ***Reemplazo inmediato de los elementos de las fijaciones que estén rotos o gastados por elementos nuevos del mismo tipo, y apriete correcto de las fijaciones. Esta acción es temporal mientras se fabrican aisladores de nuevo diseño de la NABLA (ver acción 9),***

Acción 5: ***Liberación de esfuerzos de los largos rieles soldados (LRS),***

Acción 6: ***Nivelación general de la vía,***

Acción 7: ***Amolado del riel,***

4.1.3 Casos particulares:

4.1.3.1 Balasto:

Acción 8: ***Cambio de balasto:***

- Tramos con balasto de tipo sólo calcáreo o mezcla de calcáreo y basáltico → Cambio inmediato de balasto por un balasto de tipo C4. Lista de las 13 curvas afectadas:
    - 6-1, 6-2
    - 8-1, 8-2
    - 9-1, 9-2
    - 14-1, 14-2
    - 18-1, 18-2
    - 19-1, 19-2
    - 20-1, 20-2

- 21-1, 21-2
- 23-1, 23-2
- 24-1, 24-2
- 25-1, 25-2
- 26-1, 26-2
- 29-1, 29-2

- Tramos con balasto de tipo exclusivamente basáltico → NO requiere su substitución, ya que su estado actual permite continuar con la operación de la vía.

4.1.3.2 Sistema de fijaciones:

Acción 9: ***Cambiar el aislador NABLA por un aislador de nuevo diseño adaptado al patín del riel RE115.***

4.2 Curvas de radio comprendido entre 800 m y 550 m

4.2.1 Lista de curvas con radio entre 800 m y 550 m:

- 4-1, 4-2
- 13-1, 13-2

4.2.2 Acciones a realizar:

Las indicaciones de los elementos de vías para tramos rectos y curvas de radio > 800 m se aplican igualmente a estas curvas.

4.3 Curvas de radio ≤ 550 m

4.3.1 Lista de curvas con radio ≤ 550 m (15 curvas):

- 3-1, 3-2
- 5-1, 5-2
- 7-1, 7-2
- 10-1, 10-2
- 11-1, 11-2
- 12-1, 12-2
- 15-1, 15-2
- 16-1, 16-2
- 17-1, 17-2
- 22-1, 22-2
- 27-1, 27-2

- 28-1, 28-2
- 30-1, 30-2
- 32-1, 32-2
- 34-1, 34-2

4.3.2 Acciones a realizar:

Las indicaciones de los elementos de vías para rectas y curvas de radio > 800 m se aplican igualmente a estas curvas con un cambio de balasto obligatorio a tipo C4, independientemente del tipo de balasto instalado actualmente.

Por lo tanto las acciones correctivas (Especificaciones detalladas en el Anexo A1) que deben empezar a implementarse son:

Acción 10: ***Reemplazar los rieles RE115 por rieles de tipo UIC60 (60 E 1) tratados térmicamente 350 HT con la instalación de rieles de transición,***

Acción 11: ***Reemplazar los durmientes actuales ya sean de tipo PRET o ITISA, por nuevos durmientes de tipo TBA S373 con USP (Under Sleeper Pad / zapatilla bajo el durmiente)***

Acción 12: ***Utilización de fijaciones de tipo VIPA doble piso (Railtech):***

- Zapatilla primaria con dureza 400 kN/mm
- Zapatilla secundaria con dureza 30 kN/mm

Acción 13: ***Aplicar los nuevos peraltes indicados en el párrafo A1.3 del Anexo A1***

Acción 14: ***Suprimir los contra-rieles en curvas de radio ≥ 200 m.***

4.4 Curvas 1 y 2 de TLAHUAC (R < 190m)

Las curvas 1 (R=110m) y 2 (R=112m) de acceso a los talleres de TLAHUAC constituyen un punto especialmente sensible en términos de desgaste y de mantenimiento debido al reducido radio de curvatura.

Acción 15: ***Con el fin de obtener una solución definitiva, se modificará el trazo en el tramo de acceso a talleres, donde se ubican las curvas 1 y 2, previa elaboración del pertinente proyecto ejecutivo,***

Este Proyecto Ejecutivo definirá las características de los elementos de vía. Sin embargo, previo a la implementación de este Proyecto Ejecutivo, y con objeto de poder reanudar el servicio en este tramo de la Línea, se deben seguir las medidas siguientes:

Acción 16: ***La instalación de un engrasador fijo en la salida de los talleres,***

Acción 17: ***La realización de un sobre-ancho entre los rieles (trocha) en las dos curvas a 1,445 m,***

Acción 18: ***Cambiar los topes de fijación de los rieles por topes adaptados al sobre-ancho***

Acción 19: ***La nivelación, alineación y ajuste de la vía,***

Acción 20: ***El amolado de los rieles.***

5. APARATOS DE VÍA

Acción 21: ***Reemplazar y/o reparar los aparatos de vía de acuerdo al informe de TSO "Informe preliminar de TSO Sobre el diagnóstico de la Línea 12 Bajo el contrato DGOP-AD-L-3-001-14 / Control de desgaste de Aparatos de Vía", de fecha de 26 de Mayo de 2014.***

- ➔ Los procedimientos de actuación a seguir para la reparación de los aparatos de vía será el recomendado por el fabricante Vossloh.
- ➔ El personal encargado de restablecer el perfil de los aparatos por recargamiento eléctrico debe justificar una certificación válida para el proceso utilizado.

Acción 22: ***Reemplazar los aparatos de vía 13 y 23 (Mixcoac) por aparatos de vía con rieles de tipo UIC-60 (60 E 1) tratados térmicamente HT350***

6. CATENARIA

6.1 Tramos en recta y curvas de radio > 800 m

Las acciones correctivas definidas en los apartados precedentes no generan modificaciones de la geometría de la vía; no hay por lo tanto impacto en la catenaria.

Acción 23: ***Verificar que se respetan las cotas de descentrado y la altura de la catenaria antes de recomenzar la circulación.***

6.2 Curvas de radio comprendido entre 800 m y 550 m

Las acciones correctivas definidas en los apartados precedentes no generan modificaciones de la geometría de la vía; no hay por lo tanto impacto en la catenaria.

Acción 24: ***Verificar que se respetan las cotas de descentrado y la altura de la catenaria antes de recomenzar la circulación.***

6.3 Curvas de radio ≤ 550 m

Acción 25: ***Modificar la instalación de la catenaria teniendo en cuenta las modificaciones de los peraltes.***

6.4 Curvas 1 y 2 de TLAHUAC

La modificación de la trocha y la corrección de la nivelación y la alineación del riel en las curvas tienen que ser acompañadas de la verificación que se respetan las cotas del descentre y la altura de la catenaria antes de retomar las circulaciones.

Acción 26: ***Verificar que se respetan las cotas de descentrado y la altura de la catenaria antes de recomenzar la circulación.***

7. SEÑALIZACION

Acción 27: ***Modificar la programación del CBTC para ajustar las velocidades a los nuevos peraltes presentados en el Anexo A2.***

8. MATERIAL RODANTE

Acción 28: ***Modificar el sistema de lubricación instalado a bordo para asegurar; a) que la zona de inyección esté situada en el pie de la pestaña; b) cambiar su ubicación de caja a bogie, con el fin de que el movimiento relativo entre caja y bogie no afecte a este punto.***

Acción 29: ***Ajustar las suspensiones para tener una mejor inscripción de los bogies en las curvas.***

Acción 30: ***Ajustar los ejes y/o las suspensiones para reducir el impacto de las vibraciones de 95hz.***

Acción 31: ***Debido a la mala compatibilidad actual entre la rueda y el riel en las curvas de radio reducido, esto es inferior o igual a 250 m, se deberán re-perfilar las ruedas a un***

nuevo perfil, basado en la norma francesa NF-F-03-402, con una adaptación para obtener un ancho de pestaña de 31.5 mm.

9. OBRA CIVIL EN EL TRAMO ELEVADO

En la fase precedente del diagnóstico no se han encontrado anomalías relacionadas con la obra civil.

Por lo tanto, no se da ninguna medida correctiva para el viaducto.

10. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS

Acción 32: ***Programar un Plan de Monitoreo para el seguimiento del éxito de las acciones correctivas anteriormente indicadas, en el que se incluirán medidas adicionales para complementar dichas acciones en caso de necesidad.***

ANEXOS

A1: TRAZADO DE LA VÍA

A1.1 Eje en planta

El eje en planta de la vía es prácticamente inmodificable se encuentra en viaducto y en túnel.

A1.2 Proyecto de rehabilitación del perfil longitudinal

A1.2.1. Objetivo del estudio

Se ha realizado una ligera corrección del perfil longitudinal con el objetivo de mejorar la circulación de los vehículos en la vía de la línea 12. Esta corrección permitirá, sin una importante modificación altimétrica, reducir los movimientos verticales y las vibraciones en los trenes, disminuir el desgaste ondulatorio y mejorar el confort de los pasajeros.

A1.2.2. Documentos de referencia

Los documentos utilizados son los siguientes:

- Levantamiento topográfico de los rieles del PK 4+400 al PK 19+000
- Proyecto de marchas tipo
- Esquema de la línea
- Estudio de la adaptación de las velocidades en las curvas de radio R ≤ 550 m

A1.2.3. Normas de trazado del perfil longitudinal

Las normas están incluidas en la « MEMORIA DE CÁLCULO – PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE VÍA – TRAZO Y PERFIL – LÍNEA 12 TLÁHUAC-MIXCOAC » de julio 2011. Extracto:

"Las pendientes del alineamiento vertical (S) se medirán con la relación (en %) que existe entre la diferencia de elevaciones y la longitud del segmento correspondiente medido sobre el alineamiento horizontal"

Las pendientes admisibles para el alineamiento vertical serán las siguientes:

<u>En vía libre</u> (V=90kph)

Máxima en condiciones normales: 2.00%

Máxima en condiciones excepcionales: 2.00%

Deseable: 2.00%

Mínima: 0.20%

<u>En estaciones</u>

Máxima: 0.20%

Mínima (recomendable): 0.00% »

« En toda intersección de pendientes del alineamiento vertical habrá de utilizarse una curva parabólica como transición entre las pendientes adyacentes; el uso de la curva parabólica podrá omitirse cuando la diferencia de pendientes adyacentes (S1-S2) sea menor a 0.15%. »

« Los radios de curvatura admisibles serán los siguientes: R min = $V^2/2$ »

« Como regla general, no deberán ocurrir curvas verticales en zonas de instalación de aparatos de vías. »

A1.2.4. Estudio del trazado de la vía

A1.2.4.1. Situación actual

El perfil longitudinal actual es razonablemente correcto, teniendo en cuenta las tolerancias del levantamiento topográfico, las irregularidades son del orden de algunos centímetros. Las zonas donde los defectos son más importantes en las curvas circulares, específicamente, la que precede a la punta del aparato de vía 9 (PK 18+328).

A1.2.4.2. Situación proyectada

La modificación no consiste en corregir de forma importante el perfil sino únicamente en disminuir las irregularidades con el objetivo de obtener una vía nueva rectificada, subiendo lo mínimo la altitud de la vía con el fin de aumentar lo menos posible el espesor de balasto, para:

- no disminuir la altura entre el balasto y el límite superior del andador peatonal para mantenimiento,
- no sobrecargar las zonas en viaducto,
- no disminuir excesivamente la altura libre en el túnel.

Se ha tomado en cuenta en el cálculo de las curvas circulares, las velocidades reales de operación.

A1.3 Proyecto de la modificación del peralte

Se presenta el estudio de adaptación de los peraltes realizado a partir de los tres escenarios de modificación del peralte expuestos en el Informe final de análisis. Los criterios retenidos para los siguientes parámetros son:

- El peralte máximo 100 mm
- La insuficiencia de peralte máxima 100 mm
- La variación de peralte se encuentra para la mayoría de las curvas alrededor de 1 mm/m

Explicaciones del peralte máximo :

Por un tráfico de tipo 1 (80<V<120km/h) la ficha UIC703R da los valores siguientes:

- *insuficiencia de peralte (I_{max}= 100mm et $I_{excepcional}$ 120mm)*
- *peralte máximo de 160 mm*

Teniendo en cuenta que la velocidad de la línea es de 60Km/h, para curvas de radio 200 m, tenemos entonces una necesidad de "D+I=212 mm" con D=100 mm y I=112 mm.

Una disminución de la velocidad de 5km/h conlleva que "D+I=179 mm".

➔ *Con D=100 e I=100, tenemos V= 58km/h*

La lista de curvas del tramo Tláhuac-Mixcoac que conciernen la reducción de peralte se detalla en la tabla de la página siguiente:

		MEMORIA DE CALCULO						V real en curva		MODIFICACION Hp max 100mm, Imax=100mm					
	CURVA	PI	RC	Lcl	V	hp	I	Vmin	Vmax	hp	I	Vhp	Vi	p	Al / At
			m	m	Km/h	mm	mm	km/h	km/h	mm	mm	km/h	km/h	mm/m	mm/s
Tlahuac		**4+330,070**													
	3-1	4+724.838	202	64	55	150	27	19	56	60	70	45	30	0.9	14
	3-2	4+722.852	198	77	70	160	132	17	36	60	80	50	30	0.8	14
Tlaltenco															
	7-1	6+339.273	202	63	60	160	50	61	61	100	100	60	40	1.6	27
	7-2	6+336.701	198	74	60	160	55	58	59	100	100	60	40	1.3	22
Zapotitlan		**7+043,891**													
	11-1	7+877.347	198	71	60	160	55	60	60	80	100	55	35	1.1	22
	11-2	7+879.834	202	63	60	160	50	60	60	80	100	55	35	1.3	24
	12-1	8+195.008	202	63	60	160	50	60	60	80	100	55	35	1.3	24
	12-2	8+192.599	198	71	60	160	55	60	60	80	100	55	35	1.1	22
Nopalera		**8+469,840**													
Los Olivos		**9+980,010**													
San Lorenzo Tezonco		**10+620,502**													
	15-1	10+902.082	248	85	60	140	31	63	64	85	100	60	40	1.0	20
	15-2	10+902.928	252	72	60	140	29	62	66	70	100	60	40	1.0	23
	16-1	11+302.261	223	79	65	160	64	63	63	80	100	60	40	1.0	21
	16-2	11+303.699	227	67	65	160	60	63	63	80	100	60	40	1.2	25
	17-1	11+755.967	202	63	65	160	87	59	60	80	100	55	35	1.3	24
	17-2	11+754.372	198	74	65	160	92	58	59	80	100	55	35	1.1	21
Periferico Oriente		**12+391,958**													
	22-1	12+586.308	202	63	55	150	27	60	61	70	100	55	35	1.1	24
	22-2	12+587.421	206	62	55	145	29	58	60	70	100	55	35	1.1	25
Calle 11		**13+576,007**													
Lomas Estrella		**14+631,565**													
	27-1	14+959.120	198	77	60	160	55	59	60	80	100	55	35	1.0	20
	27-2	14+961.497	202	59	55	150	27	56	59	80	100	55	35	1.4	26
	28-1	15+287.536	202	63	60	160	50	60	60	80	100	55	35	1.3	24
	28-2	15+286.648	198	74	60	160	55	59	59	80	100	55	35	1.1	21
San Andres Tomatlan		**15+841,413**													
	30-1	16+206.450	298	88	70	160	31	65	77	90	100	70	50	1.0	22
	30-2	16+208.126	302	76	70	160	32	64	75	80	100	70	45	1.1	26
	32-1	16+863.086	348	94	60	90	32	60	66	90	30	60	50	1.0	5
	32-2	16+863.800	352	80	60	90	31	62	68	90	30	60	50	1.1	6
Pueblo Culhuacan		**16+981,401**													
	34-1	17+358.885	350	58	60	90	31	57	57	70	50	60	45	1.2	14
	34-2	17+359.401	302	62	60	110	31	60	60	70	60	60	40	1.1	16
Atlalilco		**18+802,346**													
	37-1	19+187.419	202	54	50	110	36	47	47	60	100	50	30	1.1	26
	37-2	19+183.783	198	72	45	90	31	47	47	60	70	45	30	0.8	12

Tabla 7. Modificación de los peraltes hp

A3: Lista de Trabajos y Especificaciones Técnicas

A3.1 Indicación general sobre las especificaciones de referencia del proyecto

SYSTRA complementará y/o ratificará el Proyecto de Referencia de la Obra, entregando el Proyecto Ejecutivo de Acciones Correctivas con planos y especificaciones de diseño que permita llevar a cabo las acciones correctivas. SYSTRA evaluará y aprobará los Procedimientos de Construcción del Consorcio.

A3.2 Indicación sobre la puesta en obra

SYSTRA realizará la Supervisión Técnica de la Obra y el Control preciso de su ejecución.

A3.3 Requisitos sobre el Sistema de Calidad

SYSTRA asegurará que el Constructor ejecute las acciones de acuerdo con un Sistema de Calidad aprobado por SYSTRA que permitirá entre otros el registro e identificación de todos los componentes y de su instalación.

A3.4 Reemplazo de los durmientes

A3.4.1. Levantamiento de los durmientes a remplazar

Los durmientes a reemplazar serán de acuerdo a la lista aprobada por SYSTRA.

Los criterios de reemplazo de los durmientes son los siguientes:

- Durmientes de concreto:

    1. En el caso que la grieta se encuentre en la zona central del durmiente → Reemplazar
    2. Si la grieta o el desgaste del durmiente está en la fijación → Reemplazar
    3. Si el desgaste del durmiente está en un extremo → Reparación para respetar el recubrimiento de la armadura del durmiente.

- Durmientes de madera de aparato de vía:
    1. Fisuras en el centro del durmiente → No reemplazar porque este tipo de fisuras no progresarán.

2. Fisura desde el tirafondo hasta el extremo del durmiente → Reemplazar

- Separación entre durmientes:

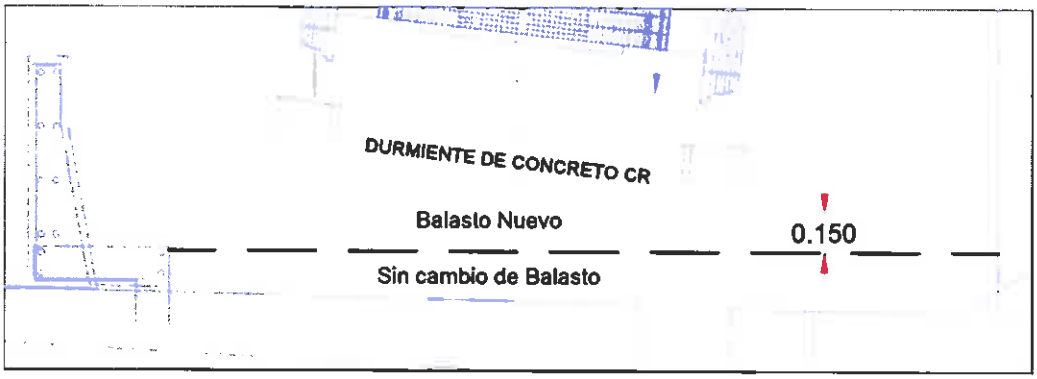
  SYSTRA indica que debe respetarse el manual de colocación, documento *PMDF-09-VI.8-612000-III_0023-02853-E-00 Instrucción técnica para la ejecución de los trabajos de vía (hojas 6 & 7),* que define el número de durmientes por km a colocar, tanto en recta (1500 durmientes) como en curva (R<380m: 1666 durmientes), resultando una distancia entre durmientes de 0,667m y 0,600m respectivamente con una tolerancia de ± 30mm.

A3.4.2. Especificaciones de la fabricación de los durmientes.

Por lo tanto a partir de los resultados de la SNCF, SYSTRA indica que deben seguirse las especificaciones PMDF para la fabricación de los durmientes. Se precisa que habrá que prestar una atención especial en la calidad del concreto respecto al desgaste producido por la fricción con el balasto.

A3.5 Procedimiento de reemplazo del balasto y modificación del peralte

En las zonas donde se requiera un cambio de balasto, es necesario retirarlo partiendo del punto que se encuentra 15 cm por debajo del extremo más bajo del durmiente (correspondiente a la vía más baja), trazando a partir de ahí una línea recta horizontal, tal y como se indica en el esquema siguiente:



Explicaciones del valor de 15cm:

El espesor de balasto bajo el riel inferior bajo es de 30 cm, lo que da un espesor de 26cm en el extremo del durmiente (con el peralte actual de 160 mm). El saneo de 15cm deja un espesor residual de 10 cm de balasto que servirá de capa de apoyo y permite una protección del tablero del puente y de su impermeabilidad. Un valor superior podría ser fuente de daños sobre la estructura.

La modificación del peralte se obtendrá modificando (bajando) la fila alta: la fila baja no cambia de posición.

A3.5.1. Especificaciones balasto

La calidad del balasto de reemplazo debe garantizar el nivel C4, según la Norma PR NF P18-545.

A3.6 Reparación de las soldaduras

A3.6.1. Lista de los trabajos

El informe del control de las soldaduras, establecido por TSO define:

- ***la lista de las soldaduras que presentan una geometría fuera de tolerancia,***
- ***el modo de corrección: reparación de la amoladura o reemplazo.***

A3.6.2. Especificaciones técnicas

Las soldaduras deberán como mínimo respetar las condiciones de realización y de recepción definidas por el documento: **"Especificación Técnica para la Ejecución de Soldaduras Aluminotérmicas en los Rieles"**

- El Constructor deberá complementar este documento con las especificaciones del fabricante de las soldaduras y las primeras indicaciones emitidas por SYSTRA.
- SYSTRA revisará y aprobará la nueva versión del documento.

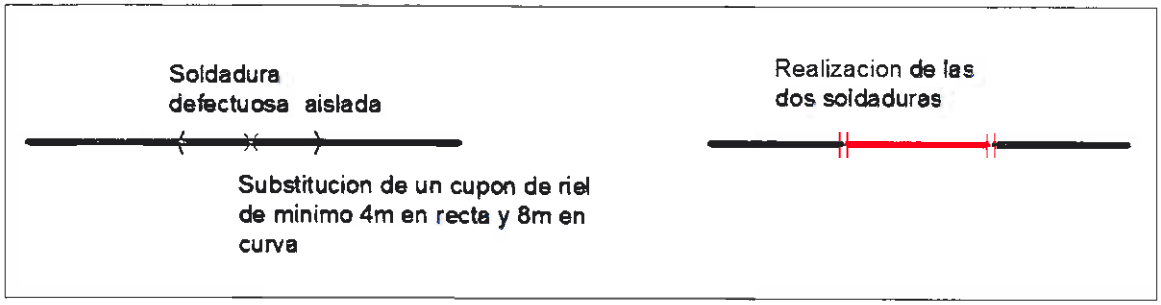
Requisitos sobre el Sistema de Calidad

SYSTRA asegurará que el Constructor ejecute las acciones de acuerdo con un Sistema de Calidad aprobado por SYSTRA que permitirá entre otros el registro e identificación de todos los componentes y de su instalación.

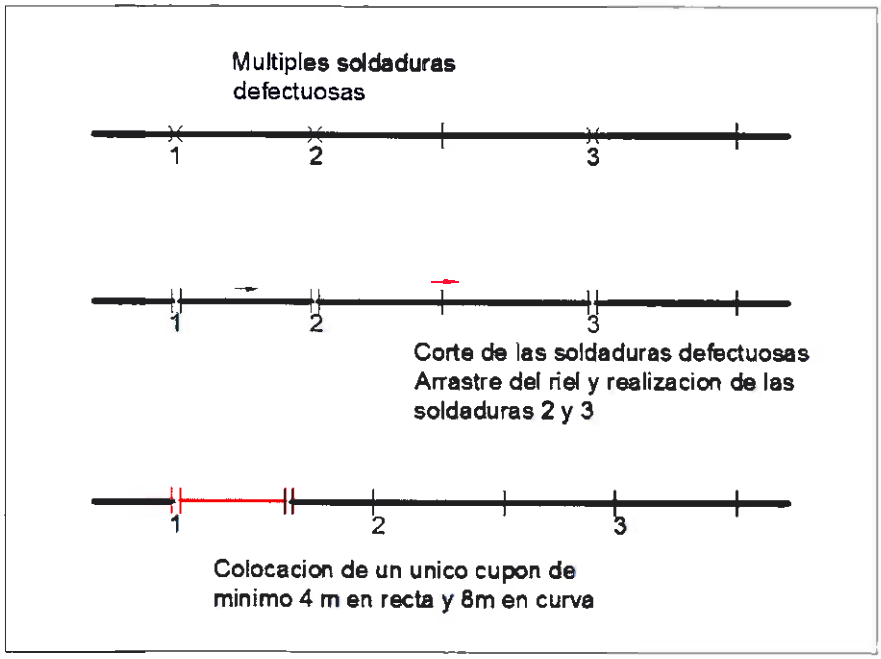
Indicaciones complementarias sobre los trabajos de instalación

- Se deberán marcar las soldaduras.
- Se deberán adjuntar los certificados de los soldadores al documento de realización de los trabajos.
- Las soldaduras para tramos en curva deberán ser realizadas con los rieles rectos, antes de ser instalado en su posición en la curva, para obtener la geometría requerida.

- Cuando la soldadura a reemplazar esté aislada, se puede realizar poniendo un cupón de riel de por lo menos 4 m de longitud en alineamiento y de al menos 8 m en curva: ver esquema siguiente:



Cuando haya varias soldaduras sucesivas a reemplazar, para evitar multiplicar el número de soldaduras, se especifica el corte de las soldaduras defectuosas, el arrastre de los rieles y la colocación de un trozo de riel en el extremo.



A3.7 Liberación de largos rieles soldados (LRS) y ajuste de aparatos de dilatación

La liberación de los LRS ha de hacerse después de la reparación de las soldaduras y del reemplazo de los durmientes rotos.

Esta acción debe respetar las prescripciones del documento **"Especificación Técnica para la Liberación de Esfuerzos en Largo Riel Soldado".**

La liberación de los LRS debe acompañarse del reglaje de los aparatos de dilatación siguiendo las prescripciones del documento **"Manual de Mantenimiento de Aparatos de Dilatación y Aparatos de Cambio de Vía".**

Indicaciones complementarias sobre los trabajos de instalación

- La liberación de los esfuerzos en los rieles deberá realizarse por el método con tensores hidráulicos, para garantizar el mayor control de estos.
- Corregir el reglaje de los aparatos de dilatación.
- Suprimir las juntas mecánicas en vías principales.

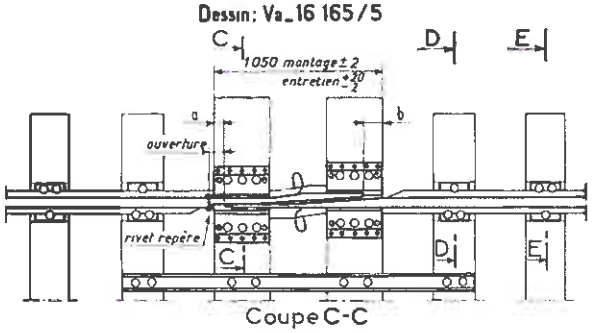
El ajuste de los aparatos de dilatación se detalla en la **norma SNCF IN 0227 Aparatos de dilatación para LRS,** de la cual se incluye la traducción del Anexo 5 – Reglaje y verificación de la abertura de los aparatos de dilatación:

> *A- Reglaje provisional durante la instalación*
>
> *Los herrajes se entregan con una abertura de 60mm que es conveniente mantener durante la instalación en la vía, independientemente de la época de la instalación.*
>
> *El reglaje definitivo debe realizarse posteriormente siguiendo la regla del párrafo B, después de la estabilización de la vía.*
>
> *Durante este periodo, conviene asegurarse de que la abertura del aparato de dilatación no se cierra durante las horas del día en las que la temperatura del riel es más elevada.*
>
> *B- Reglaje definitivo de los aparatos de dilatación*
>
> *El reglaje definitivo de los aparatos de dilatación debe realizarse cuando la vía esté estabilizada.*
>
> *La abertura C correspondiente a una temperatura t°g del riel en el momento del reglaje es dada por la formula general:*
>
> *Cmm = 130 - 2 t°g con un máximo de 140mm.*
>
> *Los semi-herrajes son ajustados de manera que las cotas correspondientes a la abertura C sean respectadas así como el escuadrado de las puntas de las agujas interiores.*
>
> *Si se debe efectuar una liberación de los LRS adyacentes poco después de la instalación de un AD (por ejemplo, en el caso de renovación), se recomienda proceder al reglaje del AD simultáneamente a esta liberación.*

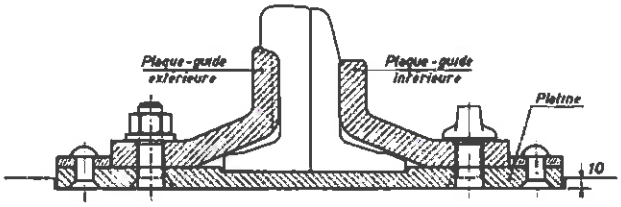
A continuación se incluye un ejemplo de esquema de instalación para un tipo de aparato de dilatación.

Type 1949 65 kg U 59	APPAREIL DE DILATATION OUVERTURE : 180mm DÉTAILS-ÉQUILIBRAGE	NG EF 2B 34 n°1 ANNEXE 1 Planche 3

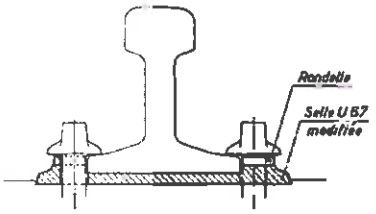
Dessin: Va_16 165/5



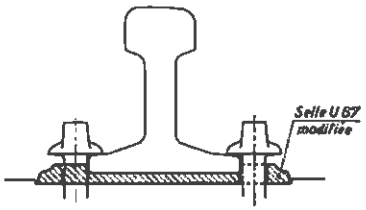
Coupe C-C



Coupe D-D



Coupe E-E



Ouverture	Cale a	Cale b	Ouverture	Cale a	Cale b
0	20	70	100	70	120
10	25	75	110	75	125
20	30	80	120	80	130
30	35	85	130	85	135
40	40	90	140	90	140
50	45	95	150	95	145
60	50	100	160	100	150
70	55	105	170	105	155
80	60	110	180	110	160
90 ouverture	65	115			

NOTA

Pour équilibrer les deux aiguilles par rapport aux rives extérieures des platines, il y a lieu, à la pose de l'appareil, de respecter les cales a et b du tableau ci-contre. L'ouverture est mesurée entre le rivet repère et la pointe de l'aiguille intérieure.

A3.8 Nivelación general de la vía

La nivelación general de la vía será objeto de un estudio de perfiles.

Este estudio está relacionado por una parte con la recepción de los levantamientos realizados por TSO y por otra parte con la definición de las acciones correctivas en las curvas.

Esta acción debe respetar las prescripciones del documento " **Instrucción Técnica para la Realineación y Renivelación de las Vías Principales sobre balasto (ANEXO 6) e Instrucción Técnica para la Ejecución de los Trabajos de Vías".**

A3.9 Amolado del riel.

El amolado del riel tiene que realizarse después de la corrección de la nivelación y del alineamiento de la vía.