



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	Diagnóstico de la Línea 12
Naturaleza del documento	Informe final
Fecha	06/06/2014
Nombre del archivo	Informe final de análisis línea 12
Referencia	MEX-S117-REP-0012-A
Confidencialita	
Idioma del documento	Español
Número de páginas	160

APROBACIÓN

Versión	Nombre		Fonction	Fecha	Visa	Modificaciones
1	Autores: Bernard Gautier Quentin Héraud Pierre Mansoz Alain Moutardier Nieves Penalba Pierre Sautjeau Philippe Vion		Expertos	03/06/2014		
	Verificador: Serge Bourdin		Director de proyecto	04/06/2014		
	Autorizado: Colás Martinet		Vice- Presidente América Latina	05/06/2014		
2	Autor			JJ/MM/AA		
	Verificador			JJ/MM/AA		
	Autorizado			JJ/MM/AA		
3	Autor			JJ/MM/AA		
	Verificador			JJ/MM/AA		
	Autorizado			JJ/MM/AA		

CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	15
1.1	PERÍMETRO DE LA PRESTACIÓN	15
1.2	OBJETIVOS	15
2.	METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA DE LA LINEA 12	16
2.1	LISTA DE ABREVIATURAS	16
2.2	LISTA TEXTOS REFERENCIALES	16
2.2.1	NORMAS EUROPEAS	16
2.2.2	NORMAS NORTEAMERICANAS	17
2.2.3	NORMAS UNION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER (UIC)	17
2.2.4	NORMAS FRANCESAS	17
2.3	METODOLOGÍA	17
2.3.1	ETAPA 1: ANÁLISIS	17
2.3.2	ETAPA 2: FORMULACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS	19
3.	VIA FERREA	20
3.1	LISTA DE DOCUMENTOS SOLICITADOS Y RECIBIDOS	20
3.1.1	PLANOS ENTREGADOS POR EL CONSORCIO CONSTRUCTOR A PMDF	20
3.1.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ENTREGADAS POR EL CONSORCIO CONSTRUCTOR A PMDF	24
3.1.3	PRUEBAS DE CALIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE VÍAS FÉRREAS ENTREGADAS POR EL CONSORCIO CONSTRUCTOR A PMDF	26
3.2	INSPECCIÓN DE LA LÍNEA	28
3.2.1	CONSTATAIONES GENERALES	35
3.2.2	EXAMEN DE LOS COMPONENTES DE LA VÍA FÉRREA	36
3.2.2.1	Rieles	36
3.2.2.2	Contrarriel en las curvas	43
3.2.2.3	Durmientes	46
3.2.2.4	Sistema de fijación	50
3.2.2.5	Balasto	52
3.2.2.6	Juntas aislantes pegadas	56
3.2.2.7	Aparatos de vía	57
3.2.2.8	Aparatos de dilatación	58
3.2.2.9	Nivelación	59
3.2.3	SÍNTESIS	60
3.2.4	INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS	61

3.3	ANÁLISIS DEL TRAZADO DE VÍA	63
3.3.1	TRAZADO EN PLANTA	63
3.3.1.1	Radio mínimo y Longitud mínima de los elementos	63
3.3.1.2	Peralte máximo, insuficiencia de peralte, velocidad máxima	66
3.3.2	-PERFIL LONGITUDINAL	67
3.3.3	VÍAS SECUNDARIAS Y VÍAS DE PATIO Y TALLERES	67
3.3.4	CORRECCIONES RECOMENDADAS	68
3.4	EXAMEN DE LOS COMPONENTES DE LA VÍA FÉRREA	73
3.4.1	RIELES	73
3.4.1.1	Conformidad en relación con el Especificaciones técnicas	73
3.4.1.2	Verificación del sistema calidad a través de la producción	73
3.4.1.3	Análisis de la realización de Largos Rieles Soldados (LRS)	73
3.4.1.4	Acciones correctivas a poner en marcha después de la auditoria	73
3.4.2	DURMIENTES	73
3.4.2.1	Conformidad en relación con las especificaciones técnicas	73
3.4.2.2	Verificación del sistema calidad durante la producción	74
3.4.2.3	Análisis de la instalación de la vía	74
3.4.2.4	Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis	74
3.4.3	FIJACIONES	75
3.4.3.1	Conformidad en relación con Especificaciones técnicas	75
3.4.3.2	Verificación del sistema calidad a través de la producción	75
3.4.3.3	Análisis de la instalación de la vía	75
3.4.3.4	Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis	75
3.4.4	BALASTO	75
3.4.4.1	Calidad de la roca	75
3.4.4.2	Espesor puesto en obra	76
3.4.4.3	Granulometría	76
3.4.4.4	Dureza (ensayos LA y Micro-deval)	78
3.4.4.5	Comentarios en relación con las especificaciones técnicas	78
3.4.4.6	Verificación del sistema calidad de la cantera y controles a través de la producción	78
3.4.4.7	Acciones correctivas a poner en marcha	78
3.4.5	APARATOS DE VÍA	79
3.4.5.1	Conformidad en relación con especificaciones técnicas	79
3.4.5.2	Verificación del sistema calidad a través de la producción	79
3.4.5.3	Acciones correctivas a poner en marcha después de la auditoria	79
3.4.6	CONTRARRIEL	79
3.4.6.1	Conformidad con la especificación técnica	79
3.4.6.2	Verificación del sistema calidad a través de la producción	80
3.4.6.3	Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis	80
3.5	EXAMEN DEL SISTEMA COMPLETO VÍA FÉRREA	80

4.	MATERIAL RODANTE	81
4.1	LISTA DE DOCUMENTOS SOLICITADOS Y RECIBIDOS	81
4.2	DIAGNÓSTICO	84
4.2.1	PARQUE DE TRENES	84
4.2.2	ESTADO DE LOS TRENES	84
4.3	ESTUDIOS DE LOS PARÁMETROS MATERIAL RODANTE INFLUYENTES SOBRE LA INTERFAZ RUEDA/RIEL	86
4.3.1	INTRODUCCIÓN	86
4.3.2	DISTANCIA ENTRE LAS CARAS INTERNAS (EI) DE LAS RUEDAS	87
4.3.2.1	Documentos de entrada	87
4.3.2.2	Comparación de los valores específicos al valor retenido por CAF	87
4.3.2.3	Comparación de la nominalización en vigor	87
4.3.2.4	Ensayos de validación de resultados	87
4.3.2.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	87
4.3.2.5.1	Metros de los tipos MF67 y MF77.	87
4.3.2.5.2	Trenes suburbanos de tipos MS61, MI79, MI84, y MI2N.	88
4.3.2.5.3	Metros de tipo MF88.	88
4.3.2.6	Puntos Difíciles / Riesgos	88
4.3.2.7	Plan de acciones	88
4.3.3	DISTANCIA ENTRE EJES DEL BOGIE	89
4.3.3.1	Documentos de entrada	89
4.3.3.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	89
4.3.3.3	Comparación de la nominalización en vigor	89
4.3.3.4	Ensayo de validación y resultados	89
4.3.3.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	90
4.3.3.5.1	Metros de tipo MF77.	90
4.3.3.5.2	Trenes suburbanos de tipo Z20500.	90
4.3.3.5.3	Trenes suburbanos de tipo MI2N.	90
4.3.3.5.4	Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.	90
4.3.3.6	Puntos difíciles / Riesgos	90
4.3.3.7	Plan de acciones	90
4.3.4	DISTANCIA ENTRE LOS EJES DE LA CAJA	91
4.3.4.1	Documentos de entrada	91
4.3.4.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF.	91
4.3.4.3	Comparación la normalización en vigor	91
4.3.4.4	Ensayo de validación y resultados	91
4.3.4.5	Valores utilizados sobre de los materiales similares	91
4.3.4.5.1	Metros de tipo MF77.	91
4.3.4.5.2	Trenes suburbanos de tipo Z20500.	91
4.3.4.5.3	Trenes suburbanos de tipo MI2N.	91
4.3.4.5.4	Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.	92
4.3.4.6	Puntos difíciles / Riesgos	92
4.3.4.7	Plan de acciones	92

4.3.5	PERFIL DE LA RUEDA	93
4.3.5.1	Documentos de entrada	93
4.3.5.2	Comparación del valor especificado y valor retenido por CAF	93
4.3.5.3	Comparación la normalización en vigor	93
4.3.5.4	Ensayo de validación y resultados	93
4.3.5.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	94
4.3.5.5.1	Metros de tipos MF67 y MF77.	94
4.3.5.5.2	Trenes suburbanos de tipos MS61, MI79, MI84, y MI2N.	94
4.3.5.5.3	Metros de tipo MF88.	94
4.3.5.5.4	Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.	94
4.3.5.6	Puntos difíciles / Riesgos	94
4.3.5.7	Plan de acciones	94
4.3.6	CONICIDAD EQUIVALENTE	95
4.3.6.1	Documentos de entrada	95
4.3.6.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	95
4.3.6.3	Comparación a la normalización en vigor	95
4.3.6.4	Ensayo de validación y resultados	95
4.3.6.4.1	Explicación de la nota de cálculo en alineamiento recto :	96
4.3.6.4.2	Explicación de la nota de cálculo en curvas:	96
4.3.6.4.2.1	Referencias:	96
4.3.6.4.2.2	Explicación de los gráficos de la nota de cálculo:	97
4.3.6.4.3	Aplicación al trazado de la línea 12:	98
4.3.6.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	99
4.3.6.6	Puntos difíciles / Riesgos	100
4.3.6.7	Plan de acciones	100
4.3.7	DIÁMETRO DE LA RUEDA	101
4.3.7.1	Documentos de entrada	101
4.3.7.2	Comparación del valor especificado y valor retenido por CAF	101
4.3.7.3	Comparación la normalización en vigor	101
4.3.7.4	Ensayo de validación y resultados	101
4.3.7.5	Valores utilizados en materiales similares	101
4.3.7.5.1	Metros de tipo MF67 y MF77.	101
4.3.7.5.2	Trenes suburbanos de tipo MS61, MI79, MI84, y MI2N.	102
4.3.7.5.3	Metros de tipo MF88.	102
4.3.7.5.4	Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.	102
4.3.7.6	Puntos difíciles / Riesgos	102
4.3.7.7	Plan de acciones	102
4.3.8	HMAX Y Y/Q EN DINÁMICA	103
4.3.8.1	Documentos de entrada	103
4.3.8.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	103
4.3.8.3	Comparación la normalización en vigor	103
4.3.8.4	Ensayo de validación y resultados	103
4.3.8.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	104
4.3.8.6	Puntos difíciles / Riesgos	104

4.3.8.7	Plan de acciones	104
4.3.9	Y/Q CASI ESTÁTICO	105
4.3.9.1	Documentos de entrada	105
4.3.9.2	Comparación valor especificados y valor retenido por CAF	105
4.3.9.3	Comparación la normalización en vigor	105
4.3.9.4	Ensayo de validación y resultados	105
4.3.9.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	105
4.3.9.6	Puntos difíciles / Riesgos	105
4.3.9.7	Plan de acciones	105
4.4	ESTUDIOS DE LAS FUNCIONES AUXILIARES EN INTERFAZ CON EL CONTACTO RUEDA/RIEL	106
4.4.1	FUNCIÓN ANTIBLOQUEO	106
4.4.1.1	Documentos de entrada	106
4.4.1.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	106
4.4.1.3	Comparación la normalización en vigor	106
4.4.1.4	Ensayo de validación y resultados	106
4.4.1.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	106
4.4.1.6	Puntos difíciles / Riesgos	107
4.4.1.7	Plan de acciones	107
4.4.2	FUNCIÓN ANTI-PATINAJE	108
4.4.2.1	Documentos de entrada	108
4.4.2.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	108
4.4.2.3	Comparación la normalización en vigor	108
4.4.2.4	Ensayos de validación y resultados	108
4.4.2.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	108
4.4.2.6	Puntos difíciles / Riesgos	108
4.4.2.7	Plan de acciones	109
4.4.3	FUNCIÓN LUBRICACIÓN	110
4.4.3.1	Documentos de entrada	110
4.4.3.2	Comparación valor especificado y valor retenido por CAF	111
4.4.3.3	Estudios detallados del sistema de lubricación.	111
4.4.3.3.1	Relación de generalidades emitidas en la NF EN 15427+A1	111
4.4.3.3.2	Relación de los principios de concepción	111
4.4.3.3.3	Comparación con la concepción del sistema de lubricación de FE10	113
4.4.3.3.4	Utilización del sistema de lubricación.	117
4.4.3.3.4.1	Cantidades y tiempos de eyección	117
4.4.3.3.4.2	Evolución del funcionamiento del sistema de lubricación	117
4.4.3.3.4.3	Diagnóstico de las zonas de lubricación.	118
4.4.3.4	Ensayo de validación y resultados	118
4.4.3.5	Valores utilizados sobre los materiales similares	119
4.4.3.6	Puntos difíciles / Riesgos	119
4.4.3.7	Plan de acciones	119

5.	OBRAS CIVILES EN EL TRAMO ELEVADO	122
5.1	ANÁLISIS DE LAS OBRAS EXISTENTES	122
5.1.1	DESCRIPCIÓN	122
5.1.2	DOCUMENTACIÓN RECIBIDA	123
5.2	EVALUACIÓN POR EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE AMPLIACIÓN DINÁMICO DE LAS DIFERENTES OBRAS	124
5.2.1	TRABE DE CONCRETO CON COLUMNA EN CONCRETO	125
5.2.2	TRABE COMPUESTA CON 2 VÍAS	132
5.2.3	TRABES COMPUESTAS (DOS PARALELAS) CON UNA VÍA	136
5.2.4	TRABE DE CONCRETO EN U CON CAJÓN	138
5.2.5	CONCLUSIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS TRABES	140
5.3	INSPECCIÓN DE LAS OBRAS	141
5.3.1	CONSTATAIONES GENERALES	141
5.3.2	EXAMEN DE LAS OBRAS Y PRINCIPALES DEFECTOS	141
5.3.2.1	Problema de drenaje y fugas	141
5.4	VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE LOS DURMIENTES PRETENSADOS	146
5.5	FISURAS MALLADAS DE LOS DURMIENTES EN CONCRETO	147
5.6	GRIETAS DE LAS VIGAS EN CONCRETO	148
6.	ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE VÍA Y MATERIAL RODANTE	149
6.1	ANÁLISIS DEL DOCUMENTO DE MANTENIMIENTO DE LA VÍA FÉRREA (MANUAL DE MANTENIMIENTO)	149
6.1.1	RECEPCIÓN DE LAS OBRAS Y MANTENIMIENTO REALIZADO	150
6.1.2	CRÍTICAS Y MEDIDAS CORRECTIVAS	150
6.2	MANTENIMIENTO DEL MATERIAL RODANTE	151
7.	CONCLUSIONES	152
7.1	RESUMEN DEL ANÁLISIS	152
7.2	ACCIONES INMEDIATAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA 12	153
7.2.1	OBRAS	153
7.2.2	MATERIAL RODANTE	153
7.2.3	VÍA FÉRREA	153
7.2.3.1	Sustitución de las agujas de los aparatos de vía que lo requieren	153
7.2.3.2	Esmerilado y desbarbado de los aparatos de vía que lo requieran	153
7.2.3.3	Garantizar el adecuado engrasado y lubricación del riel, por el tren y por sistema fijo	153
7.2.3.4	Ajustar el contrarriel para que no sea activo	154
7.2.3.5	Corrección de la geometría de las soldaduras aluminotérmicas de rieles por esmerilado	154
7.2.3.6	Durmientes	154
7.2.3.7	Balasto	154
7.3	ETAPA SIGUIENTE: RECOMENDACIÓN DE MEDIDAS CORRECTIVAS A LARGO PLAZO	155

7.3.1	MEDIDAS RELACIONADAS CON LA VÍA FÉRREA	155
7.3.1.1	Ajuste del peralte para limitarlo a 100mm	155
7.3.1.2	Rectificación de trazado	155
7.3.2	MEDIDAS RELACIONADAS CON LA INTERFAZ RIEL/RUEDA	155
7.3.2.1	Definición de un nuevo perfil de rueda y/o de riel	155
7.3.2.2	Puesta a punto del sistema de lubricación	156
8.	ANEXOS	157
8.1	ANEXO: NORMA BALASTO	158
8.2	ANEXO: NORMA LUBRICACION	159
8.3	ANEXO: NORMA PERFIL DE RUEDA	160

INDICE DE LAS FIGURAS

Figura 1.	Principio del “Ciclo en V”	18
Figura 2.	Esquema de bateo mecánico	61
Figura 4.	Contacto riel/rueda en alineación	96
Figura 5.	Diferencia G/D de la distancia a recorrer en las curvas	96
Figura 6.	Contacto riel/rueda en curvas de radios pequeños “a la derecha”	97
Figura 7.	Diferencia de radios G/D en función del desplazamiento transversal	97
Figura 8.	Desplazamiento del punto de contacto en función a los movimientos transversales del eje.	98
Figura 9.	Análisis del desplazamiento de los ejes en las curvas de 200m	99
Figura 10.	Zonas de una superficie de rodamiento	112
Figura 11.	Alineación de la unidad de aplicación de lubricante sobre la pestaña de la rueda	112
Figura 12.	Zonas de una superficie de rodamiento	113
Figura 13.	Preconización del proveedor para la fijación del sistema de lubricación.	114
Figura 14.	Montaje del sistema de lubricación realizado por CAF.	114
Figura 15.	Punto de eyección del lubricante	115
Figura 16.	Ubicación del sistema de lubricación del FE!O	116
Figura 17.	Desequilibrio posible en las curvas de radios pequeños	116
Figura 18.	Cargas vivas (Tren normal y tren de mantenimiento)	124
Figura 19.	Sección de trabe de concreto con columna en concreto	125
Figura 20.	Modelo de cálculo: L 30 m en línea recta	125
Figura 21.	Modelo de cálculo: L 25m en curva con radio R = 200 m	126
Figura 22.	Sección tipo en línea recta de trabe compuesta con 2 vías	132
Figura 23.	Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones	133
Figura 24.	Sección tipo en curva de trabes compuestas (dos paralelas) con una vía	136
Figura 25.	Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones	137
Figura 26.	Sección tipo de trabe de concreto en U con cajón	138
Figura 27.	Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones	138

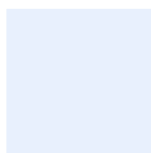
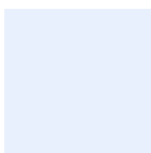
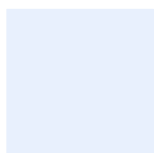
INDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1.	Lista de abreviaturas	16
Tabla 2.	Lista textos referenciales-Europa	16
Tabla 3.	Lista textos referenciales-USA	17
Tabla 4.	Lista textos referenciales-UIC	17
Tabla 5.	Lista textos referenciales-Francesas	17
Tabla 6.	Lista de documentos Vía - Planos	23
Tabla 7.	Lista de documentos Vía -Especificación Técnica	26
Tabla 8.	Lista de documentos Vía - Pruebas de calidad	27
Tabla 9.	Resumen de las curvas de radio inferior a 380 m donde existen elementos de trazado que no cumplen la longitud mínima exigida:	64
Tabla 10.	Incoherencias en los valores del peralte práctico respecto al método de cálculo preconizado	67
Tabla 11.	Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 1	69
Tabla 12.	Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 2	70
Tabla 13.	Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 3	71
Tabla 14.	Resumen comparativo de los tres escenarios	72
Tabla 16.	Lista de documentos Material Rodante	84
Tabla 17.	Hipótesis de cálculo: L 30 m en línea recta	133
Tabla 18.	Hipótesis de cálculo: L 25m en curva	133
Tabla 19.	Hipótesis de cálculo: L 25m en curva	136
Tabla 20.	Hipótesis de cálculo: L 25m en curva	138

INDICE DE LAS FOTOS

Foto 1.	Head-checking vía 2 Pk 12,213, cerca de Estación Periférico Oriente	36
Foto 2.	Desgaste ondulatorio de amplitud 6-7 cm vía 2 Pk 10,905	37
Foto 3.	Profundidad de 0,5 mm vía 1 Pk 11,780	37
Foto 4.	Rastros de movimiento transversal de la rueda por deslizamiento en vía 2 en Pk 12,52038	
Foto 5.	Rebabas en el exterior del carril de la fila alta sobre vía 2 al Pk 15,320	38
Foto 6.	Fisuras transversales sobre el hongo sobre vía en el Pk 10,885	39
Foto 7.	Rodadura fila izquierda y derecha Pk 9,400 vía 1	40
Foto 8.	Soldadura vía 1 - Pk 9,710	41
Foto 9.	Soldadura Pk 6,515 vía 1	41
Foto 10.	Soldadura Pk 16,820 vía 2	42
Foto 11.	Soldadura angulosa en la fila baja de la vía 2 curva 12	42
Foto 12.	Contrarriel de la curva 27 vía 2	43
Foto 13.	Trazas de fricción (zona activa del contrarriel) comprendido entre el 3° y el 6° soporte (curva 27)	44
Foto 14.	Brida de fijación del contrarriel aflojada en Pk 16,900	45
Foto 15.	Apoyo del contrarriel sobre 3 mm en extremo del soporte (curva 3)	46
Foto 16.	Durmientes con moldeado lateral anormal en Pk 7,020	47
Foto 17.	Durmiente roto en Pk 11,704 vía 2	47
Foto 18.	Durmiente agrietada longitudinalmente en Pk 16,848	48
Foto 19.	Durmiente agrietada transversalmente en Pk 6,985	48
Foto 20.	Travesía agrietada en el centro en el Pk 16,848 vía 1	49
Foto 21.	Balasto incrustado en el hormigón de la durmiente en Pk 4,765 vía 1 (antes de desguarnecido)	49
Foto 22.	Cabeza del durmiente en Pk 4,765 vía 1 (Después de desguarnecido)	49
Foto 23.	Fijación Nabla agrietada en Pk 8,250	50
Foto 24.	Fijación Nabla rotas en Pk 11,780	51
Foto 25.	Fijación faltante en el Pk 4,975 (con funda obstruida)	51
Foto 26.	Fijación colocada con dos láminas de resorte en el Pk 4,985	52
Foto 27.	Balasto de tipo diferente en Pk 9,030	52
Foto 28.	Diferencia de desgaste entre un elemento de origen basáltico y un elemento de origen calcáreo en Pk 10,800	53
Foto 29.	Balasto redondeado por el movimiento (oscilación vertical) de los durmiente en Pk 10,800 vía 1	53
Foto 30.	Balasto bajo durmiente contaminado por finos y que retienen la humedad en Pk 4,765 vía 1	54
Foto 31.	Contaminación por arcilla en estación de Tlahuac	55
Foto 32.	Elementos finos en el balasto Pk 6,015 vía 2	55
Foto 33.	Granulometría demasiado pequeña Pk 5,055	55
Foto 34.	Juntas aislante pegadas con durmientes centrales inestables Pk 16,490 vía 1	56

Foto 35.	Junta aislante con rastro sobre la brida en la estación de Tlahuac	57
Foto 36.	Aguja mellada en estación de Tlahuac	57
Foto 37.	Defectos de nivelación en curva 7	59
Foto 38.	Defectos de nivelación en curva 10 vía 2 en respuesta a sustitución de durmientes	60
Foto 39.	Pestaña cortada / qR débil	85
Foto 40.	Desgaste anormal de la cara interna	86
Foto 41.	Ejemplo del sistema de eyección de lubricante de la SNCF	120
Foto 42.	Trabe compuesta con columna en hormigón	122
Foto 43.	Trabes compuestas paralelas con columna en acero	122
Foto 44.	Trabes de hormigón en doble U con columna en hormigón	123
Foto 45.	Trabe de concreto en U con cajón y columna en hormigón	123
Foto 46.	Problema de drenaje entre dos tramos	142
Foto 47.	Drenaje con un tubo debajo de la losa	142
Foto 48.	Anclaje de poste de catenaria debajo de la losa	143
Foto 49.	Variación de color del concreto no uniforme sobre vigas y tabletas	143
Foto 50.	Fisuras del concreto y del mortero de sellado	144
Foto 51.	Calidad de los sellados de mortero en la extremidad de los capiteles	144
Foto 52.	Irregularidad de geometría de los segmentos y tramos prefabricados	145
Foto 53.	Flecha excesiva de un tramo y una rotación de la extremidad	145
Foto 54.	Patín inferior con acero quebrantado	146
Foto 55.	Fisura mallada de un durmiente de concreto	147



1. INTRODUCCION

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 oriente-poniente. 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.

El 12 de marzo del 2014 el servicio de pasajeros fue suspendido entre las estaciones Tláhuac y Atlalilco debido a una falla estructural de la vía; el sistema presenta piezas dañadas (durmientes, fijaciones del riel, ruptura de fijaciones de aparatos de dilatación) y un fuerte desgaste ondulatorio del riel.

Al día de hoy, las causas de las fallas no han sido claramente identificadas y numerosos estudios y auditorias se encuentran actualmente en curso de realización.

En este contexto, la Secretaria de Obras y Servicios del GDF ha solicitado una prestación a SYSTRA con el fin de inscribir los estudios en curso en una auditoria global de la línea 12.

1.1 Perímetro de la prestación

La prestación de servicios solicitada a SYSTRA es una misión de asistencia a la Secretaria de Obras y Servicios para la resolución de las fallas de la línea 12. En este contexto, SYSTRA implementa un plan de análisis de las fallas al nivel de las infraestructuras elevadas (viaducto) y las curvas de entrada al taller.

Para ello, SYSTRA se apoyará sobre la totalidad de análisis ya realizadas o en fase de realización (estudio TSO), como en auditorias complementarias en lo relacionado a los subsistemas de vía, material rodante, infraestructura (viaducto) y sus interfaces.

1.2 Objetivos

El presente estudio tiene por objetivo la identificación de las causas de las fallas de la línea 12 y la formulación de las medidas correctivas. Este documento es una versión preliminar del informe que SYSTRA entregará al final del estudio.

2. METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA DE LA LINEA 12

2.1 Lista de abreviaturas

Arema	Norma norteamericana
CR	Contrarriel
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
UCI	Union internationale des chemins de fer

Tabla 1. Lista de abreviaturas

2.2 Lista textos referenciales

2.2.1 Normas Europeas

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 équivalente
EN 13 674-1	Rails Vignole de masses supérieure ou égale à 46kg/m
EN 13 674-3	Contre Rails
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 14730-1-2	Soudure Aluminothermique
EN 13715	Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheels. Tread profile
EN 14363	Railway applications. Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Testing of running behavior and stationary tests
EN 50215	Railway applications. Rolling stock. Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service
EN 15427+A1	Railway applications. Wheel/rail friction management. Flange lubrication

Tabla 2. Lista textos referenciales-Europa

2.2.2 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

2.2.3 Normas Union internationale des chemins de fer (UIC)

UIC 510-2	Trailing stock: wheels and wheelsets. Conditions concerning the use of wheels of various diameters
UIC 511	Trailing stock - Wheelbase
UIC ORE S1002	Standardisation of wheel profile
UIC 518	Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality

Tabla 4. Lista textos referenciales-UIC

2.2.4 Normas francesas

NF-F-03-402	Railway transport equipment. Wheel sets for standard gauge rolling stock. Theoretical wheel profile V of 135 mm.
-------------	--

Tabla 5. Lista textos referenciales-Francesas

2.3 Metodología

El estudio está dividido en dos etapas principales:

2.3.1 Etapa 1: Análisis

Con el objetivo de identificar las causas de las problemáticas encontradas en la línea 12, SYSTRA ha redactado un plan de investigación en 4 fases basado en el principio del “Ciclo en V”, al cual le integra un análisis de las conclusiones de las auditorías ya realizadas o en fase de realización.

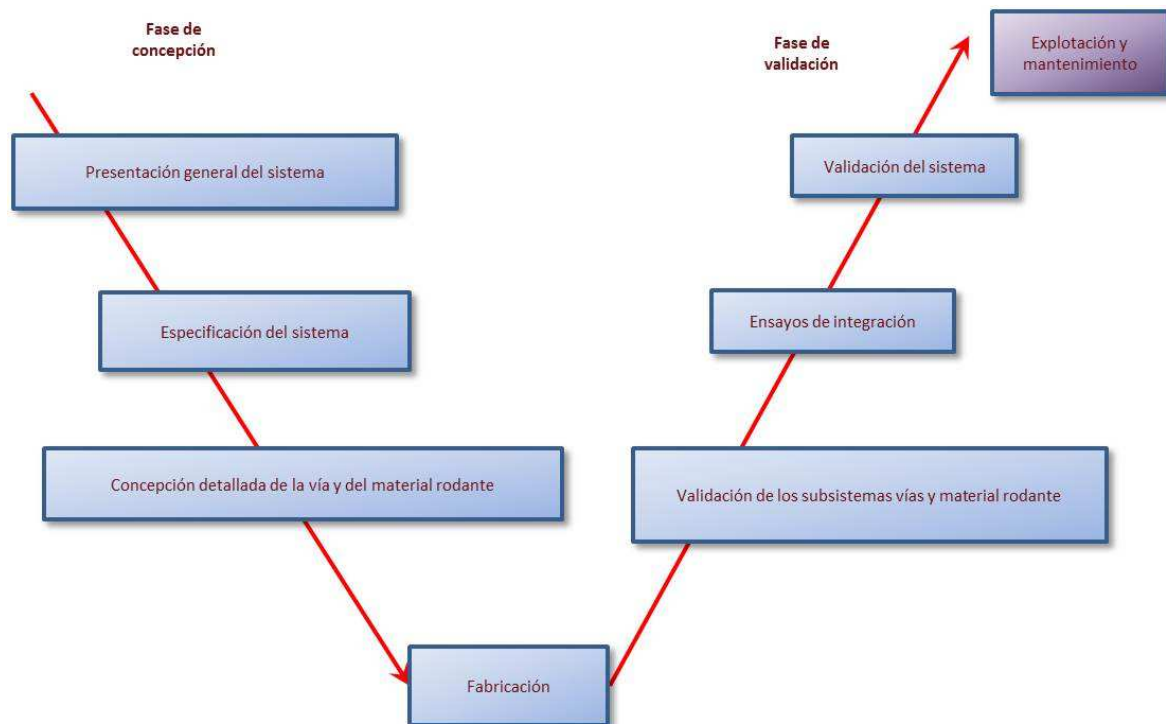
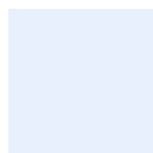
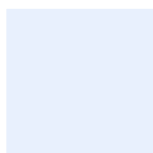
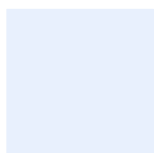


Figura 1. Principio del "Ciclo en V"



En este sentido, la auditoria de SYSTRA es realizada según el plan siguiente:

Fase 1: Recopilación de las especificaciones técnicas y análisis de los diseños

- Auditoria de los documentos de concepción general del sistema de la línea 12 (especificaciones funcionales y técnicas).
- Análisis de estudios de diseño realizados (ingeniería básica).
- Auditoria de los documentos de concepción detallada de los subsistemas viaducto, vía y material rodante (proyecto ejecutivo).
 - › SYSTRA está dedicando una atención particular a la verificación del respeto de las reglas de concepción, especialmente toma en cuenta las interfaces entre los dos subsistemas vía y material rodante y entre los dos subsistemas vía y viaducto.

Fase 2: Validación de la realización “in situ”

- SYSTRA realizó auditoria en el sitio de la vía, del viaducto y del material rodante, con el fin de verificar su conformidad con respecto a los documentos de especificaciones técnicas. También utilizará el levantamiento topográfico realizado por la empresa TSO así como los análisis de la calidad del balasto, de los durmientes y de las fijaciones por un laboratorio de la SNCF.

Fase 3: Recopilación de los datos de validación de los sistemas instalados

- Auditoria de los documentos de validación de los subsistemas viaducto, vía y material rodante.
 - › SYSTRA dedicó una especial atención a la verificación de los ensayos que han permitido validar el rendimiento esperado de las interfaces de estos tres subsistemas.
- Auditoria de los documentos de validación de la integración de los tres subsistemas.

Fase 4: Evaluación de las condiciones operacionales

SYSTRA auditó la organización implementada para el respeto de las condiciones de operación y de mantenimiento nominal. Para ello, se tomó conocimiento de los manuales de operación y mantenimiento.

El presente informe presenta los resultados de esta etapa de análisis de las fallas de la Línea 12.

2.3.2 Etapa 2: Formulación de acciones correctivas

SYSTRA, basándose en la identificación de los orígenes de los defectos, que fuesen identificados como defectos de concepción, defectos de realización o de mantenimiento, formulará un conjunto de recomendaciones. SYSTRA incluirá en este análisis los subsistemas “catenaria” y “aparatos de vía” que pueden ser fuertemente impactados por las modificaciones de nivelación de la vía. Finalmente, SYSTRA ayudará a la Secretaría de Obras y Servicios a la implementación de un plan de acciones correctivas.

3. VIA FERREA

3.1 Lista de documentos solicitados y recibidos

3.1.1 Planos entregados por el Consorcio Constructor a PMDF

Código de Plano	Título del Plano	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0001-02478-P-00	Junta aislante pegada para vía con rieles de 115 R.E. Corte del armado y detalle de material.	08/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02479-P-00	Aparato de dilatación para vía con rieles 115 R.E. Conjunto.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0003-02480-P-00	Aparato de dilatación para vía con rieles 115 R.E. Detalles de la agujas de izq.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0004-02481-P-00	Aparato de dilatación para vía con rieles 115 R.E. Detalles de las agujas de derecha.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0005-02482-P-00	Aparato de dilatación para vía con rieles 115 R.E. Cojinete-placa guía-silla.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0006-02815-P-00	Aparato de dilatación para vía con rieles de 115 R.E. Pequeño material de fijación.	21/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0007-02816-P-00	Vía con riel 115 R.E. Instalación de vía en curva vía emplanchuelada.	20/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0008-02817-P-00	Colocación de la vía con riel 115 R.E. Vía elástica con sillas y fijaciones indirectas. Conjunto.	21/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0009-02818-P-00	"Silla" para la fijación elástica indirecta colocación de la vía con riel 115 R.E.	21/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0010-02819-P-00	Colocación de la vía con riel 115 R.E. vía elástica con sillas y fijaciones indirectas. Pequeño material para fijación.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0011-02820-P-00	Implantación de la vía con rieles 115 R.E. fijación del contrarriel 33C1	20/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0012-02821-P-00	Implantación de la vía con rieles 115 R.E. Contrarriel 33C-1. Detalles de los elementos para su fijación.	21/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0013-02822-P-00	Junta aislante para vía con riel 115 R.E. Corte del armado y detalle del pequeño material.	21/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0014-02823-P-00	Implantación de la vía con rieles 115 R.E. sobre durmientes de concreto tipo bloque armado con juntas aislantes pegadas "J.A.P."	31/05/2010

Código de Plano	Título del Plano	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0015-02824-P-00	Junta mecánica para vía con rieles 115 R.E. Corte del armado y detalle del pequeño material.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0016-02825-P-00	Almohadilla de caucho acanalada tipo "longitudinal" a utilizar en durmientes de concreto para riel 115 R.E. Grapa nabla (s), grapa nabla S1 (s S1) y grapa nabla (s) (recortada).	20/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0017-02826-P-00	Implantación de la vía con rieles 115 R.E. sobre durmientes de concreto tipo monobloque armado con juntas aislantes pegadas "J.A.P."	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0018-02827-P-00	Corte y perfil de rueda metálica monobloque de Ø 860.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0019-02828-P-00	Distribución de durmientes (zona de aparatos de dilatación) riel 115 R.E.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0020-02829-P-00	Vía con riel 115 R.E. Instalación sin silla en talleres maquinado de los durmientes.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0021-02830-P-00	Junta mecánica planchuela tipo (AREMA) "Head Free" para vía con rieles 115 R.E. corte del armado y detalle del pequeño material.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0022-02831-P-00	Montaje de junta mecánica (Planchuela Head Free) con rieles 115 R.E.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0023-02832-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 comunicación Tg 0.13 Entre ejes de vías 3600 desviación a la izquierda y derecha plano de conjunto.	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0024-02833-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. - aguja AM71 de izquierda Tg 0.13 y Tg 0.20 Detalle.	19/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0025-02834-P-00	Vía de 1435 - puesta al grado riel 115 R.E. Contra-aguja 115 R.E. De izquierda Tg 0.13, Tg 0.20 Detalle y derecha	19/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0026-02909-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. Cruzamiento Tg 0.13 a derecha plano de conjunto y cruzamiento a derecha Tg 0.20 Ensamble.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0027-02910-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 parte central de la comunicación Tg 0.13 entre ejes de vías 3600 plano de conjunto.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0028-02911-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. Montaje contrarriel 115 R.E. desvío Tg. 0.13 Plano de conjunto	19/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0029-02912-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 Dispositivo de maniobra para aguja Tg 0.13 montaje del cerrojo V.C.C. (Verrou Carter Coussinet)	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0030-02913-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20, Dispositivo de maniobra para aguja Tg.0.13, Montaje de cerrojo axial.	23/04/2010

Código de Plano	Título del Plano	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0031-02914-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 dispositivo de maniobra para aguja Tg 0.20 montaje del cerrojo V.C.C. (Verrou Carter Coussinet) y montaje de varillas modelo 70 con TR44 o equivalente.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0032-02915-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 desviación - zona de agujas Tg 0.13 Plano de conjunto.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0033-02916-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. Media aguja a la izquierda-desviación a la derecha Tg. 0.13 esquema de montaje.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0034-02917-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. - media aguja a la derecha-desviación a la derecha Tg. 0.13 esquema de montaje derecha Tg. 0.13 esquema de montaje.	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0035-02918-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 dispositivo de maniobra para aguja Tg 0.20 montaje del cerrojo axial con palanca "L" y montaje de varillas tipo 70 con palanca "SAXBY".	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0036-02919-P-00	Enlace Tg 0.13 desvío a la izquierda y derecha plano de conjunto.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0037-02920-P-00	Enlace Tg 0.20 desvío a la izquierda y derecha plano de conjunto.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0038-02921-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. zona de agujas Tg 0,13 cortes B-B, C-C, D-D, E-E, F-F, G-G, H-H, I-I.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0039-02922-P-00	Vía de 1435 - con inclinación 1/20 riel 115 R.E. cruzamiento Tg 0.13 Corte J-J Y K-K.	19/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0040-02923-P-00	Vía de 1435 - riel 115 R.E. desvío Tg. 0.13 y Tg. 0.20 diversos rieles	19/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0041-02924-P-00	Durmiente de concreto tipo bloque para rieles 115 R.E.	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0042-02925-P-00	Durmiente de concreto tipo monobloque para riel 115 R.E.	07/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0043-02926-P-00	Perfil de riel 115 R.E. y contrarriel 33C-1.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0044-02927-P-00	Vía de 1435-con inclinación 1/20 montaje del contrarriel 115 R.E. desvío Tg 0.20 ensamble	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0045-02928-P-00	Vía de 1435 con rieles 115 R.E. 1:20 -AM71 Aguja TG. 0.20 ensamble.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0046-02523-P-00	Vía de 1435 con inclinación 1/20 – RIELES 115 R.E. Media aguja a la izquierda en desviación a la derecha TG 0.20 esquema de montaje.	23/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0047-02930-P-00	Vía de 1435 con inclinación 1/20 - rieles 115 R.E. media aguja a la derecha en desviación a la derecha Tg 0.20 esquema de montaje.	06/05/2010

Código de Plano	Título del Plano	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0048-02931-P-00	TOPE DE MADERA COLOCADO AL FINAL DE LAS VÍAS SOBRE CONCRETO Y SOBRE COLUMNAS METÁLICAS.	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0049-02932-P-00	Detalles del pequeño material de fijación para riel 115 R.E. en plataforma de concreto y fosas.	08/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0050-02933-P-00	APARATOS DE VIA Tg. 0.13 UBICACION DE MOTORES TIPO T-72 (subterráneo y superficial)	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0051-02934-P-00	Colocación de la vía en tangente y curva de $R \geq 100$ m; $75 \leq R < 100$ m; $R < 75$ m	05/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0052-02935-P-00	Distribución de durmientes de concreto para tramo en curva con $R \leq 380.000$ m	05/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0053-02936-P-00	DETALLES DE FIJACION PARA DURMIENTES DE CONCRETO CON RIELES 115 R.E.	15/06/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0054-02937-P-00	Perno "SL" para la fijación en durmiente y tirafondo tipo "JAB" 23x155 Y 23x115 Para fijación en durmiente de madera.	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0055-02938-P-00	Distribución de durmientes de concreto en curvas con $R_n > 1000$ m y en tangente vía continua (L.R.S.)	05/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0056-02939-P-00	Detalle de fijación en fosas de: mantenimiento menor, de pruebas, de visita, de sopleteado, de vehículos auxiliares y plataforma de concreto.	24/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0057-02940-P-00	Guarnición helicoidal y perno tirafondo M22 para fijación de vía en durmientes de concreto	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0058-02941-P-00	Durmientes de madera de transición para curva con $R < 75$ m. (Fijación rígida).	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0059-02942-P-00	Tope de arena colocado al final de la vía sobre balasto en la zona de depósitos.	06/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0060-02943-P-00	Durmiente de madera tipo "SA" para vías secundarias en tangente y curva con $R \geq 75$ m (fijación rígida)	31/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0061-02944-P-00	Distribución de durmientes de concreto en curva con $R_n > 1000$ m y en tangente vía continua (L.R.S.)	05/07/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0062-02945-P-00	Vía con riel 115 R.E. distribución de durmientes de concreto para tangente y curvas de $R \geq 500.000$ m. (vía emplanchuelada)	05/07/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0001-05927-P-00	Durmiente de concreto tipo monobloque.	01/06/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0112-14972-P-00	Durmiente de concreto tipo monobloque para riel 115 R.E. fijación del contrarriel 33C-1 anclada y con bridas.	01/06/2010

Tabla 6. Lista de documentos Vía - Planos

3.1.2 Especificaciones técnicas entregadas por el Consorcio Constructor a PMDF

Código de Especificación	Título	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0001-02250-E-00	Especificación técnica para la fabricación y suministro de las piezas moldeadas en acero al manganeso para los aparatos de vía.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02251-E-00	Especificación técnica para suministro de rieles de acero no tratado de calibre 115 r.e.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0003-02252-E-00	Especificación técnica para el suministro de durmientes de madera de azobe para los aparatos de cambio de vía.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0004-02253-E-00	Especificación funcional para la fabricación de durmientes de concreto bloque.	06/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0005-02254-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de planchuelas metálicas para riel 115 r.e. y aparatos de cambio de vía.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0006-02835-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de tornillos y tuercas de acero para el equipamiento de las vías.	09/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0007-02837-E-00	Especificación técnica para la fabricación de almohadillas acanaladas de hule a colocarse entre rieles y durmientes de concreto.	19/05/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0008-14960-D-00	Estudio para el uso de aparatos de dilatación.	17/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0009-02839-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de los pernos "sl" utilizados en las vías.	06/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0010-02840-E-00	Especificación técnica para el suministro de la grapa metálica elástica "rn" para equipar las vías.	29/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0011-02841-E-00	Especificación técnica para el suministro de bujes aislantes tipo cañon.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0012-02842-E-00	Especificación técnica para el suministro del cojinete aislante amortiguador para la grapa "rn".	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0013-02843-E-00	Especificación técnica para el suministro de durmientes de madera nacional (madera dura tropical).	20/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0014-02844-E-00	Especificación técnica para la fabricación de los aparatos de vía y de sus refacciones.	23/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00	Especificación técnica para el suministro de balasto.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0016-02846-E-00	Especificación técnica para la ejecución de soldaduras aluminotérmicas en los rieles.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0017-02847-E-00	Especificación técnica para el suministro de piezas de acero forjado, necesarias a la maniobra de los aparatos de vía.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0018-02848-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de grapillas elásticas metálicas.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0019-02849-E-00	Especificación técnica para el suministro de juntas aislantes pegadas (jic) (jap).	22/03/2010

Código de Especificación	Título	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0020-02850-E-00-	Especificación técnica para la fabricación de tornillería ordinaria de acero.	23/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0021-02851-E-00	Especificación técnica para el suministro de contrarrieles perfil 33c-1.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0022-02852-E-00	Especificación técnica para el suministro de los aparatos de dilatación para rieles de vía continua.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0023-02853-E-00	Instrucción técnica para la ejecución de los trabajos de vía.	07/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0024-02854-E-00	Especificación técnica de la consigna de mantenimiento relativa a los aparatos de dilatación para vía armada con largos rieles soldados.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00	Especificación técnica para la fabricación y suministro de grapas nabra para el equipamiento de las vías.	19/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0026-02856-E-00	Especificación técnica para el suministro de sillas de fundición para la sujeción indirecta de las fijaciones elásticas.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0027-02857-E-00	Especificación técnica para el suministro de planchuelas aislantes ordinarias.	14/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0028-02858-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción del pequeño material aislante a utilizar en las vías.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0029-02859-E-00	Especificación técnica para la fabricación y suministro de vástagos de anclaje de acero.	25/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0030-02860-E-00	Especificación técnica para el suministro de grapas (sapos) y cuñas metálicas para el equipamiento de las vías.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0031-02861-E-00	Especificación técnica para la aplicación de recubrimientos metálicos para la protección contra la corrosión.	08/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00	Especificación funcional para la fabricación de durmientes de concreto reforzado monobloque para riel 115 re.	23/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0033-02863-E-00	Especificación técnica para el suministro de soportes de contrarriel 33c-1.	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0034-02864-E-00	Especificación técnica para el suministro de topes aislantes específicos de las grapas nabra.	23/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0035-02865-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de las arandelas planas.	23/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0036-02866-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de las arandelas de presión.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0037-02867-E-00	Especificación técnica para la fabricación y recepción de las arandelas de presión de doble espira.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0040-02868-E-00	Especificación técnica para el suministro de resina "vls" para la fijación de pernos – tirafondo en durmientes de concreto.	07/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0041-02869-E-00	Especificación técnica para el suministro de pernos tirafondo de acero para la fijación del riel sobre durmientes de concreto.	07/04/2010

Código de Especificación	Título	Fecha de entrega
PMDf-09-VI.8-612000-III-0042-02870-E-00	Especificación técnica para la fabricación de la guarnición helicoidal para la fijación de riel sobre durmientes de concreto.	07/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0043-02871-E-00	Especificación técnica para el suministro del refuerzo de la grapa metálica elástica "rn"	07/04/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0044-02872-E-00	Especificación técnica para el suministro de durmientes de madera de azobe.	31/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0045-02873-E-00	Especificación técnica para la fabricación y suministro de tirafondos "gs" y de fundas aislantes "gs".	31/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0046-02874-E-00	Especificación técnica para la reposición de pernos tirafondo dañados durante la colocación de la vía, sobre durmientes de concreto.	31/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0047-02875-E-00	Especificación técnica para el suministro de perfiles aislantes de material plástico "end post".	23/02/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0048-02876-E-00	Especificación técnica para el suministro del producto aislante (bituminoso) por colar.	30/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0050-02877-E-00	Especificación funcional para el suministro de los topes de seguridad en la vía de pruebas de los talleres.	22/03/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0051-14968-E-00	Especificación técnica para la fabricación y el suministro de calzas aislantes (zoclo) utilizadas para la fijación de riel en vía sobre concreto.	08/05/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0052-02878-E-00	Especificación técnica para la ejecución de la soldadura eléctrica por electroforja.	22/03/2010
PMDf-09-VI.8-612000-III-0055-14948-E-00	Estudio del sistema de vías para la línea 12 del metro	17/03/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0056-14957-E-00	Especificación técnica para el suministro de bujes y arandelas aislantes.	23/02/2010
PMDf-10-VI.8-612000-III-0057-14958-E-00	Especificación técnica para el suministro de tela aislante de fibra de vidrio texturizada.	23/02/2010

Tabla 7. Lista de documentos Vía -Especificación Técnica

3.1.3 Pruebas de calidad de los elementos del sistema de vías férreas entregadas por el Consorcio Constructor a PMDF

ELEMENTO	TIPO DE PRUEBA	NORMATIVA
RIEL 115 RE(lb/yd)	Tensión	PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02251-E-00 / ASTM E8-08
	Dureza brinell	PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02251-E-00 / ASTM E10-08
	Análisis químico	PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02251-E-00 / UIC-860-R
	Examen macroscópico	PMDf-09-VI.8-612000-III-0002-02251-E-00 / UIC-860-R

ELEMENTO	TIPO DE PRUEBA	NORMATIVA
DURMIENTES DE CONCRETO PRESFORZADO MONOBLOQUE PARA RIEL 115 RE (lb/yd)	Examen visual de aspectos exterior	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Control de las cotas y tolerancias	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Control de calidad del concreto y agregados	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00 / NMX-C-114-ONNCE-2004/ NMX-C-III-ONNCE-2004
	Momento flexionante positivo sobre el asiento del riel	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Momento flexionante negativo sobre el asiento del riel	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Momento flexionante positivo sobre el centro del durmiente	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Momento flexionante negativo sobre el centro del durmiente	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
	Tracción para funda aislante	PMDF-09-VI.8-612000-III-0032-02862-E-00
BALASTO	Desgaste deval	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00 / AFNOR P-18577
	Fraccionamiento Los Angeles	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00 / ASTM-C535 / AFNOR P-18573
	Granulometría	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00 / ISO/TC 24
	Agujas	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00
	Lacios	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00
	Homogeneidad	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00
	Limpieza	PMDF-09-VI.8-612000-III-0015-02845-E-00
FIJACION	Tamaño de grano	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 /
	Resiliencia longitudinal	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 / NF-A-03-156 / NF-A-03-151
	Resiliencia transversal	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 / NF-A-03-156 / NF-A-03-151
	Macrográfico	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 / NF-A-04-201 / NF-A-05-152
	Niebla salina	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 / NF-X41-002
	Fatiga bajo esfuerzo variable	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 /
	Geometría	PMDF-09-VI.8-612000-III-0025-02855-E-00 /
APARATOS DE VÍA	Certificados de calidad	

Tabla 8. Lista de documentos Vía - Pruebas de calidad

3.2 Inspección de la línea

La inspección comprende el tramo de línea donde el servicio comercial ha sido suspendido (viaducto).

La inspección se realizó los días 06 y 07/05/2014 sobre el tramo elevado de la línea:

- entre el depósito de TALLERES y la estación de LOS OLIVOS,
- entre la estación de TEZONCO y el Pk 12,600,
- entre las estaciones de LOMAS ESTRELLA y de CULHUACAN,

Las zonas objeto de la inspección son representativas del conjunto de la línea e incluyen la mayor parte de las curvas de radio pequeño donde son constatados los desórdenes más importantes presentes en la línea.

La inspección ha sido realizada por un recorrido a pie sobre el conjunto de las dos vías por los expertos de SYSTRA.

Esta inspección ha permitido presentar el estado en que se encuentran actualmente las zonas objeto del mismo para el diagnóstico.

El seguimiento de las filas de riel fue hecho para cada vía en su sentido de circulación.

Los centros de las curvas (derecha e izquierda) se localizaron con relación al eje de la línea en sentido creciente de Pk.

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
Talleres de TLAHUAC	<u>Curva 1:</u> R=110 m Del centro a la izquierda	Trazas de fricción sobre la brida de la JAE Desgaste ondulatorio en la fila baja Chaflán en la fila alta Problema de rodadura sobre las soldaduras Rebabas exteriores sobre la fila baja	P1160876 a P1160881
	<u>Curva 2:</u> R =112 m Del centro a la izquierda	Desgaste ondulatorio en la fila baja E = 1,428 – D = 3 del lado de la fila baja Junta angulosa	P1160882 a P1160888
Estación de TLAHUAC	∞	Problema de rodadura sobre la junta Problema de rodadura sobre las soldaduras Desgaste lateral del riel de fila alta con desgarro del metal Aumento de arcilla en el andén Comunicación V1-V2 con desgaste ondulatorio Agujas melladas	P1160889 a P1160902

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
	<u>Curva 3:</u> R = 200 m Del centro a la izquierda	Valor de las cuñas bajo el contrarriel (35 mm la de 80 mm – 67 mm por la de 45 mm) Durmientes de diferente tipo dentro del JAE Desgaste ondulatorio Head-checking	P1160903 a P1160921
4,650 – V2		Desgaste vertical del riel bajo = 6 mm + Desgaste lateral del riel alto = 2 mm E = 1,433 – D = 110	
4,723		V1: E = 1,437 – D = 162 V2: E = 1,435 – D = 157 (riel graso)	
4,745		Perno roto en el contrarriel sobre V1 Fijaciones rotas Fijaciones con doble lámina de resorte metálica Desgaste vertical en el riel bajo = 5 mm Desgaste lateral en el riel alto = 2 mm	
4,765		Cabeza del durmiente de la fila baja empotrado en el balasto Cabeza del durmiente de fila alta: Sin observaciones Perfiles de balasto límites Balasto bajo durmiente sucio y húmedo Topes de durmientes redondeados	P1160922 a P1160929
4,780		Durmiente roto	P1160930 a P1160934
4,975	∞	Fijación faltante y fundas obstruidas	P1160935
5,050	<u>Curva 4:</u> R = 550 m Del centro a la derecha	Desgaste ondulatorio ligero V1: E = 1437 – D = 98 V2: E = 1437 – D = 91	P1160936
5,055		Balasto triturado	P1160937
5,095		Problema de rodadura sobre soldadura	P1160938 a P1160940
5,320	∞	Rodadura diferente en fila izquierda y fila derecha	P1160941 y P1160942
	<u>Curva 5:</u> R = 400 m Del centro a la derecha	Desgaste ondulatorio de filas altas y bajas V1: longitud de onda 16 cm (trenes frenando) V2: longitud de onda 12 cm fila baja y 10 cm fila alta (trenes acelerando) Desgaste vertical 3 mm	P1160943 aP1160947
Estación TLALTENCO	∞		

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
6,015	<u>Curva 6:</u> R = 1000 m Del centro a la derecha	Balasto contaminado por arena	P1160948
6,150	∞	AR	P1160949
		Desgaste ondulatorio en fila baja y alta Desajuste de la fila baja y balasto redondeado	P11609450 a P1160960
6,285	<u>Curva 7:</u> R = 200 m Del centro a la izquierda	Durmiente con grieta en el eje	P1160961
6,290		V1: E = 1437 – D = 164 V1: Desgaste lateral del riel alto = 1 mm – Desgaste vertical del riel bajo = 2 mm V2: D = 165	P1160962 a
6,420		Soldaduras angulosas V1	P1160969
6,515	<u>Curva 8:</u> R = 2100 m Del centro a la derecha	Problema de rodadura sobre soldadura	P1160970
6,565		Zona de reemplazo de durmientes en V1 y V2 (durmientes PRET)	
6,920	<u>Curva 9:</u> R = 20000 m Del centro a la izquierda	AR Durmiente con problemas desmoldado lateral	P1160971 a P1160975
Estación ZAPOTITLAN	∞		
7,400	<u>Curva 10:</u> R = 450 m Del centro a la derecha	Nivelado desigual V2 por reemplazo de durmientes Desgaste ondulatorio Balasto con muchos elementos de caliza (Riel graso)	P1160980 a P1160985
7,775		Durmiente roto	
7,780	<u>Curva 11:</u> R = 200 m Del centro a la derecha	Desgaste ondulatorio + desajuste V1: E = 1439 – D = 145 V2: E = 1440 – D = 167	P1160986 a P1170001
7,785		% alto de balasto de caliza Desajuste en V1	
8,029	Punto de inflexión entre C11 et C12		P1170002 y P1170003

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
	<u>Curva 12:</u> R = 200 m Del centro a la izquierda	Soldaduras angulosas en fila baja V2 Durmientes agrietados en el empalme de espesor (zona de bateo mecánico desfasada con el contrarriel) Desgaste ondulatorio a pesar de la amoladura (< 3 meses según el acompañante de la STC): longitud de onda diferente entre la fila alta y baja	P1170003 a P1170013
8,250		Nabla rota Durmientes rotos en el eje	
		Desajuste en la fila baja de la vía 1	
8,327	∞	Rodadura diferente en la fila izquierda (todo el hongo) y en fila derecha (rodadura sobre largo medio) sobre V1 y V2	
Estación NAPOLERA		Rodadura diferente sobre la fila izquierda y la fila derecha	P1170018 y P1170019
8,904	<u>Curva 13:</u> R = 755 m Del centro a la derecha	V1: E = 1438 – D = 64 V2: E = 1440 – D = 51 Balasto de caliza redondeado	P1170020 a P1170026
9,050		JAЕ: huellas sobre la brida de la fila derecha, sin huellas sobre fila izquierda	P1170027 a P1170029
9,200	∞	Rodadura diferente sobre las 4 filas	P1170030 a P1170033
9,495	<u>Curva 14:</u> R = 1100 m Del centro a la izquierda	V1: E = 1435 – D = 37 V2: E = 1437 – D = 34	P1170034 a P1170038
9,710	∞	V1 fila derecha: soldadura defectuosa: cuña de 14/100 con regla de 40 cm	P1170039
Estación OLIVOS			

Zona no visitada entre OLIVOS y TEZONCO

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
Estación TEZONCO	∞		
10,800	Curva 15: R = 250 m Del centro a la derecha	V2: inicio del contrarriel	
10,850		V2: inicio del desgaste ondulatorio sobre las dos filas (longitud de onda = 14 cm) V2- file H: desgaste vertical 1 mm – desgaste lateral = 0	P1170040 a P1170046
10,885		V1: fisuras transversales en la fila baja (trenes en aceleración)	P1170047 a P1170049
10,902		V1: E = 1439 – D = 134 V2: E = 1437 – D = 126 V2: longitud de onda 6 à 7 cm sobre fila alta– 8 à 9 cm sobre fila baja (trenes frenando)	P1170050 a P1170056
10,910		V1 fila baja: altitud de onda= 30 à 40/100 mm	
10,965		V2: fin del desgaste ondulatorio (fin del contrarriel a 11,000)	
	∞		
11,245	Curva 16: R = 225 m Del centro a la derecha	Desgaste ondulatorio (longitud de onda = 7 cm) Trazas de “chariotage” (movimiento transversal de la rueda por deslizamiento) (sinusoide de 7-8 cm) Deformación por fluencia del metal con fisuras en las filas bajas V1 y V2	P1170057 a P1170064
11,280		Soldaduras angulosas sobre la fila baja Desajuste en la fila baja	P1170065 y P1170066
11,300		V1: E = 1441 – D = 145 V2: E = 1440 – D = 144 (Riel graso)	
11,400		V1: Fin del desgaste ondulatorio (fin del contrarriel a 11,420)	P1170067 y P1170068
11,420	∞	V1: Rodadura diferente sobre las dos filas.	
	Curva 17: R = 200 m Del centro a la izquierda	Nivelación afectada a la entrada de la curva V2: Inicio del contrarriel: 11,620 – Inicio de desgaste ondulatorio: 11,650	P1170069 a P1170078
11,704		Durmientes rotos en la vía 2	
11,706		Fijación del contrarriel suelta	
11,735		V2: Juntal de ajuste a cada lado de la traviesa	
11,755		V1: E = 1439 – D = 165 V2: E = 1435 – D = 155	

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
11,780		Nabla rota Altura del desgaste ondulatorio: 60 à 70/100 mm V1 fila baja Desajuste V1 fila baja y balasto redondeado	P1170079 a P1170083
11,855		Fin del desgaste ondulatorio (fin del CT a 11,871)	
	<u>Curvas 18 et 19:</u> R = 3000 m Del centro a la izquierda y a la derecha		
12,000	∞	En los durmientes centrales del JAE V2	P1170085
12,210	<u>Curva 20:</u> R = 3000 m Del centro a la izquierda	Defecto de nivelación a la salida de la curva 20 V1: E = 1437 – D = 2 V1: desgaste ondulatorio en las filas alta y baja V2: Inicio del head-checking y trazas de deformación por fluencia del metal	P1170086 à P1170087
12,280	<u>Curva 21:</u> R = 3000 m Del centro a la derecha	V1: desgaste ondulatorio ligero en la fila alta y más marcado en la fila baja V1: E = 1440 – D = 0 V2: desgaste ondulatorio ligero a mitad de la curva	P1170088 à P1170091
Estación PERIFERICO ORIENTE	∞		P1170092 à P1170094
12,500	<u>Curva 22:</u> R = 200 m Del centro a la izquierda	V2: Inicio del contrarriel CR activo desde el 3 ^{er} soporte hasta el intervalo entre el 5 ^{to} y el 6 ^{to} soporte	P1170095 à P1170101
12,520		V2: Inicio del head-checking en la fila alta con trazas de deformación por fluencia del metal	
12,525		V2: Inicio del desgaste ondulatorio, onda de 9-10 cm en las 2 filas Deformación por fluencia del metal en la fila baja	P1170102 à P1170104

Zona no visitada entre el 12,680 y LOMAS ESTRELLA

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
14,815	<u>Curva 27:</u> R = 200 m Del centro a la derecha	V2: Inicio del desgaste ondulatorio (inicio del CR: 14,792) Juntal de ajuste fila baja (14,921)	P1170111 à P1170124
14,950		V2: E = 1438 – D = 135 Desgaste lateral del riel alto= 2 mm Desgaste vertical del riel bajo: 3 mm V1: Altura de onda en fila alta = 50/100 mm – fila baja = 40/100 mm	
15,075		V2: Fin del desgaste ondulatorio (fin del CR a 15,100)	
15,170	<u>Curva 28:</u> R = 200 m Del centro a la izquierda	V2: inicio del head-checking en la fila alta (inicio del CR = 11,150)	P1170125 à P1170134
15,175		V2: Inicio del desgaste ondulatorio	
15,220		V2: fin del head checking	
15,285		V1: E = 1438 – D = 159 V2: E = 1437 – D = 165 Existencia de rebabas exteriores en la fila alta y deformación por fluencia del metal con fisuras en la fila baja	
15,320		Aplastamiento en riel bajo (rebabas de 2 mm) Riel alto: rebabas exteriores	
15,375		Fin del desgaste ondulatorio (fin del CR en Pk 15,412)	
	<u>Curva 29:</u> R = 3000 m Del centro a la izquierda	RAS	
15,710	∞	Rodadura de las 4 filas del riel V2 fila D al riel V1 fila D.	P1170135 à P1170138
Estación SAN ANDRES TOMATLAN			
16,050	<u>Curva 30:</u> R = 300 m Del centro a la derecha	V1: Inicio del head-checking (inicio de CR en el Pk 16,020)	P1170144 à P1170152
16,065		V1: inicio del desgaste ondulatorio	
16,100		V1: JAE con trazas sobre la brida Zona de reemplazo de numerosas traviesas (todo en PRET)	
16,205		V1: E = 1439 – D = 156 V2: E = 1435 – D = 160	

Pk	Trazado	Constataciones	Fotografías
16,300		Nivelación y levantamiento sobre V2	
16,335		V1: Fin del desgaste ondulatorio (fin el CR a 16,380)	
16,490	Curva 31: R = 1100 m Del centro a la izquierda	Head-checking en la fila alta JAE: desajuste de 2 durmientes centrales con trazas de fricción sobre las 2 filas	P1170154 et P1170155
16,795	Curva 32: R = 350 m Del centro a la derecha	Sin escamado V1: Inicio del desgaste ondulatorio (inicio del CR a 16,740) Vía 1 amolada	P1170156 à P1170166
16,820		V2: Soldadura con inclusión	
16,848		V1: durmiente roto	
16,863		V1: E = 1438 – D = 87 V2: E = 1439 – D = 88	
16,885 + 16,900		Durmiente roto+ Fijación del CR desajustada y desmontada	
16,945		V1: Fin del desgaste ondulatorio (fin del CR a 16,985)	
Estación CULHUACAN	∞	Rodadura en la estación	P1170167 à P1170171

3.2.1 Constataciones generales

El análisis pone en evidencia degradaciones y anomalías importantes de diferentes componentes de la vía. Los defectos importantes sobre:

- los rieles: desgaste ondulatorio, desgaste lateral, desgaste vertical, aplastamiento, deformación por fluencia del metal, fisuras, head-checking, desnivelaciones de la superficie de rodadura,
- las soldaduras aluminotérmicas: defectos de geometría, hoyos en la superficie,
- los durmientes: rotura, fisuras y grietas, desgaste anormal del concreto,
- las fijación del riel: apriete excesivo, aflojamiento, rotura,
- las fijaciones del contrarriel: aflojamiento, rotura,
- el balasto: contaminación por elementos finos, crecimiento de lodo, friabilidad y desgaste prematuro
- la geometría de la vía: defectos de nivelación, defectos de alineación de la vía

Los defectos están principalmente ubicados en las curvas de radio inferior o igual a 800m; el número y la gravedad de los defectos constatados están ligados al valor del radio de la curva (cuanto más pequeño es el radio, más grande es el número y la gravedad de las fallas).

Los defectos afectan sobre todo a los rieles (sobre las dos filas). Los defectos de riel especialmente los que se refieren a la superficie de la circulación generan las vibraciones que ocasionan otras degradaciones: rupturas de ataduras del riel, deterioración de la nivelación, desgaste del balasto...

El detalle de las anomalías por componente se presenta en el párrafo 3.2.2.

Una relación de los defectos por zona geográfica se retoma en el documento anexo 1.

3.2.2 Examen de los componentes de la vía férrea

3.2.2.1 Rieles

El riel es de tipo 115 RE de matiz 900; proviene de dos proveedores:

- Arcelor Mittal España (Ensidesa),
- Tata Francia (Corus Hy).

Las vías están constituidas por barras largas soldadas formadas a partir de carriles elementales de 18 m soldados en vía por aluminotermia.

Los defectos graves se acumulan sobre las curvas de radio inferior o igual a 800m y su frecuencia depende del radio de curvatura.

Se observan configuraciones similares en la mayoría de las curvas:

- la entrada a la curva (y la salida) primero es marcada por la aparición de fisuras transversales (defecto llamado head-checking) sobre el hongo del riel de la fila alta:



Foto 1. Head-checking vía 2 Pk 12,213, cerca de Estación Periférico Oriente

- con aumento de la curvatura, un desgaste ondulatorio aparece sobre ambas filas de rieles. La profundidad y la amplitud de las ondas varían según el radio de la curva y la velocidad de los trenes: la longitud de ondas varía de 6-7 cm a 15-16 cm y la profundidad alcanza 0,5-0,6 mm



Foto 2. Desgaste ondulatorio de amplitud 6-7 cm vía 2 Pk 10,905

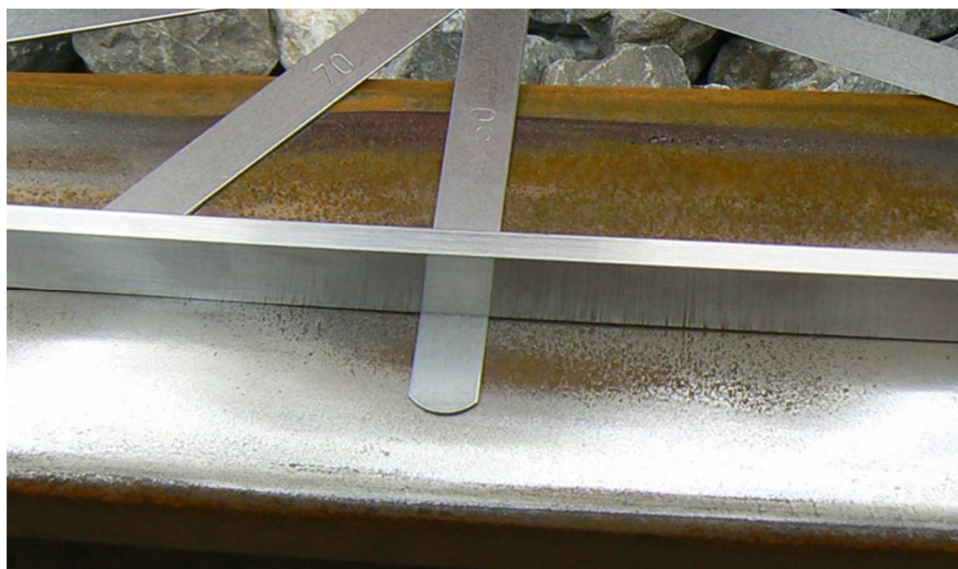


Foto 3. Profundidad de 0,5 mm vía 1 Pk 11,780

- según la curva, el desgaste ondulatorio es acompañado de rastros de “chariotage” (movimiento transversal de la rueda por deslizamiento):



Foto 4. Rastros de movimiento transversal de la rueda por deslizamiento en vía 2 en Pk 12,520

Este fenómeno se comprueba en ambas filas de carriles de la curva. En la fila alta, en los casos más avanzados, se observa una fluencia de metal con creación de una rebaba en la parte exterior del riel.



Foto 5. Rebabas en el exterior del carril de la fila alta sobre vía 2 al Pk 15,320

- el hongo del riel de la fila baja presenta, además del desgaste ondulatorio, fisuras transversales; estas fisuras parecen superficiales pero un control por ultrasonidos permitirá medir su componente vertical:

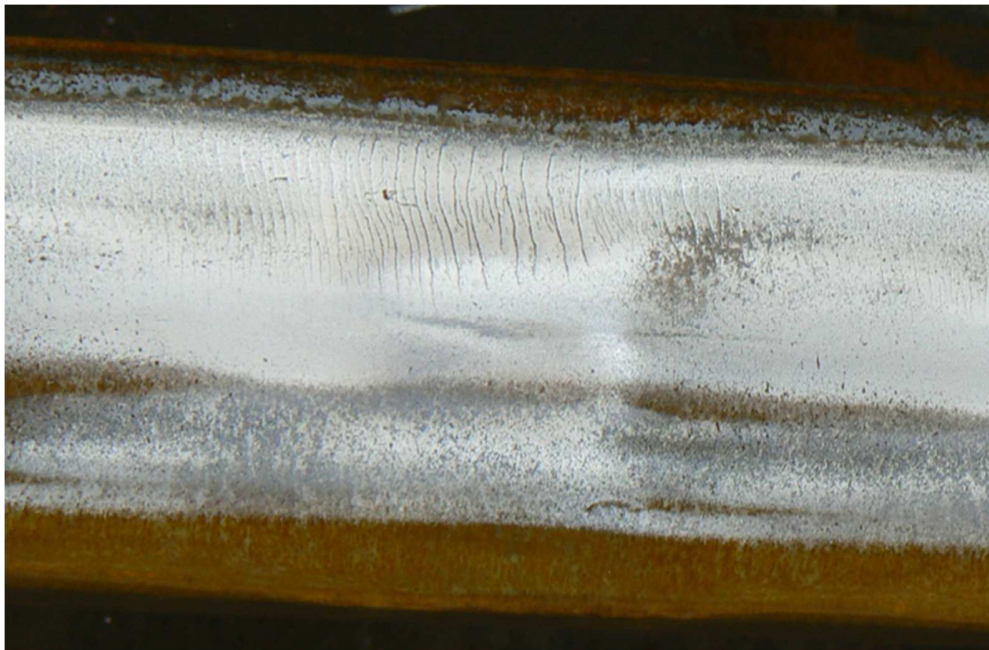


Foto 6. Fisuras transversales sobre el hongo sobre vía en el Pk 10,885

- un desgaste vertical en el hongo del riel de 1 a 3 mm sobre la fila alta y de 2 a 6 mm (6 mm en la curva 3) sobre la fila baja ;
- un desgaste lateral en el hongo del riel de la fila alta de 1 a 2 mm ;

En los tramos rectos de la vía este defecto se presenta en menor medida.

En alineamiento recto, los defectos que afectan a los rieles son menores. También se observaron:

- Superficies de rodadura no homogéneas entre ambas filas del riel.



Foto 7. Rodadura fila izquierda y derecha Pk 9,400 vía 1

Se requieren investigaciones complementarias para conocer el origen de esta rodadura diferente (consecuencias de desgaste de las ruedas, inclinación de los carriles,..)

Un gran número de soldaduras aluminotérmicas presentan defectos de realización.

○ Soldadura hueca:

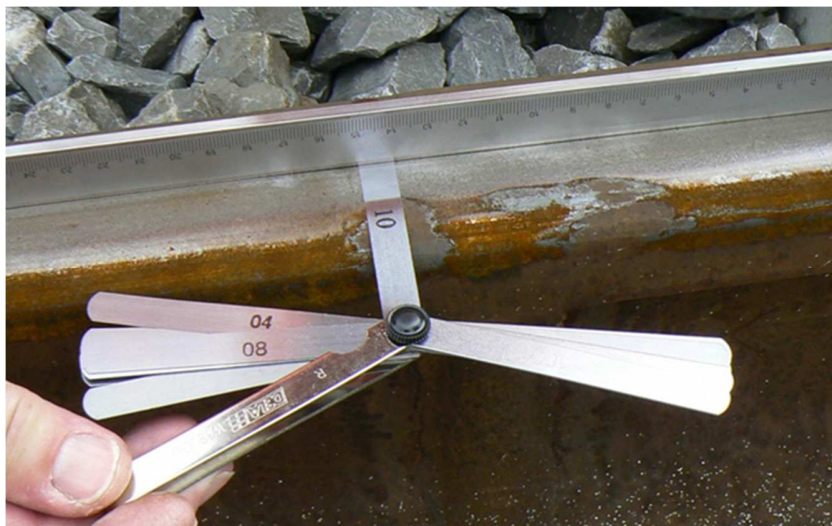
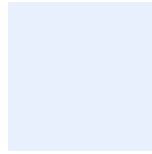
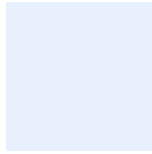
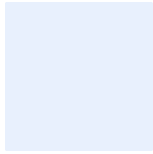


Foto 8. Soldadura vía 1 - Pk 9,710

○ Defecto de alineación:



Foto 9. Soldadura Pk 6,515 vía 1



○ Despegadura de metal:



Foto 10. Soldadura Pk 16,820 vía 2

○ Soldaduras angulosas en curvas de radio pequeño:



Foto 11. Soldadura angulara en la fila baja de la vía 2 curva 12

Sin identificación de la fuente de estos desgastes anormales, todo tratamiento será meramente temporal y los defectos reaparecerán muy rápidamente.

3.2.2.2 Contrarriel en las curvas

Las curvas con radios inferiores a 380m están equipadas de un contrarriel colocado en el lado interior de la fila baja.



Foto 12. Contrarriel de la curva 27 vía 2

Los contrarrieles son activos en la zona de entrada y de salida entre el 3er y 6° soporte; en el resto de la curva, la colocación a una distancia (laguna) de 80 mm permite que no exista contacto con la rueda.

Se realizarán investigaciones complementarias respecto a la implantación de los contrarrieles.

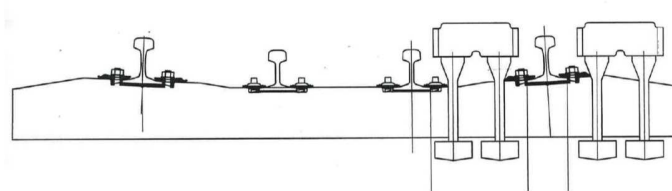


Foto 13. Trazas de fricción (zona activa del contrarriel) comprendido entre el 3° y el 6° soporte (curva 27)

Por otro lado está implantación molesta las operaciones de bateo mecánico pesado.

El papel y propósito de estos contrarrieles, si es activo o pasivo por concepción, fue precisado a SYSTRA:

- limitar las consecuencias de un descarrilamiento: en ese caso, se colocaría un riel de seguridad en el eje de la vía, lo que favorecería el bateo mecánico ;



- favorecer la inscripción de los vehículos en las curvas: la laguna entonces se adapta para darles una función activa sobre la curva. En este caso, un estudio de interfaz riel/rueda y de impacto sobre la inscripción de los vehículos en curva debe realizarse. De hecho, el contrarriel juega este papel a la salida de las curvas.

Los defectos siguientes están relacionados:

- varios dispositivos de fijación del contrarriel están flojos,



Foto 14. Brida de fijación del contrarriel aflojada en Pk 16,900

- en la zona activa del contrarriel, la longitud de apoyo del contrarriel sobre su soporte es reducida a algunos milímetros debido a las cuñas necesarias para respetar la laguna de 45mm, dejando poca superficie de soporte.



Foto 15. Apoyo del contrarriel sobre 3 mm en extremo del soporte (curva 3)

3.2.2.3 *Durmientes*

Los durmientes monobloc en concreto pretensado; son de 3 tipos:

- Durmiente de vía en línea ITISA,
- Durmiente de vía en línea PRET,
- Durmientes con soporte de contrarrieles PRET.

El número de durmientes es de:

- 1515 durmientes/kilometro en alineación,
- 1666 durmientes/kilometro en curva.

El análisis puso en evidencia:

- los defectos de moldeado,



Foto 16. Durmientes con moldeado lateral anormal en Pk 7,020

El problema de moldeado lateral muestra un proceso de fabricación no completamente controlado y se puede temer que existan anomalías de fabricación más importantes o ubicadas en zonas críticas para la resistencia del durmiente.

- la ruptura de durmientes



Foto 17. Durmiente roto en Pk 11,704 vía 2

- las grietas longitudinales



Foto 18. Durmiente agrietada longitudinalmente en Pk 16,848

- las grietas transversales de los durmientes,



Foto 19. Durmiente agrietada transversalmente en Pk 6,985



Foto 20. Traviesa agrietada en el centro en el Pk 16,848 vía 1

- un desgaste anormal del concreto sobre las cabezas de los durmientes de la fila baja en las curvas de radio pequeño.



Foto 21. Balasto incrustado en el hormigón de la durmiente en Pk 4,765 vía 1 (antes de desguarnecido)



Foto 22. Cabeza del durmiente en Pk 4,765 vía 1 (Después de desguarnecido)

La presencia de numerosos durmientes rotos y agrietados, a pesar de la sustitución masiva ya realizada, es un nuevo factor que inquieta a causa de la juventud de la línea.

Los durmientes rotos ya no son capaces de asegurar su función principal consistente en mantener la separación y la estabilidad del riel. **Este estado presenta un riesgo para la seguridad de las circulaciones.**

Los durmientes agrietados no son reparables; las grietas sólo se agravarán para conducir a la rotura del durmiente. Este fenómeno de ruina puede ser rápido a causa de las vibraciones generadas por el estado del riel y puede producirse al paso de un tren.

En las curvas de radio pequeño ($< 500\text{m}$), la vía está instalada con un peralte importante (alcanzando 160 mm). Los esfuerzos del balasto en la cabeza del durmiente de la fila baja son elevados. Se comprueba en varias zonas un desgaste del hormigón de la cabeza del durmiente por los granos de balasto (ver ilustraciones del Pk 4,765 vía 1 más arriba). Esta situación hace temer el mismo fenómeno para el fondo de los durmientes lo que sería perjudicial para su resistencia a mediano plazo y sobre todo para el mantenimiento de la nivelación en el muy corto plazo. No fue posible hacer un sondeo para verificar el estado de la superficie inferior de los durmientes de hormigón durante el análisis; esta comprobación se tiene que hacer en una investigación suplementaria

Además hay que subrayar que la cuantiosa y constante sustitución de los durmientes rotos ocasiona un deterioro de la nivelación perjudicial para la calidad general de la vía.

3.2.2.4 Sistema de fijación

El sistema de fijación del riel es de tipo Nabla Evolution (aislamiento plástico + lámina de resorte metálica) utilizadas con placa de asiento de caucho de 9 mm bajo el riel.

De manera general las fijaciones Nabla están muy apretadas. Esta presión excesiva lleva a un desgaste acelerado del aislamiento de plástico y una pérdida en término de la elasticidad de la lámina de resorte metálica.

Pero otras anomalías son constatadas:

- ciertas fijaciones están rotas o agrietadas



Foto 23. Fijación Nabla agrietada en Pk 8,250



Foto 24. Fijación Nabla rotas en Pk 11,780

Estas grietas y rupturas de las fijaciones son la consecuencia de una parte, de una presión excesiva y por otra parte, de las vibraciones generadas en el riel por los defectos de superficie de la circulación (desgaste ondulatorio en particular.)

- las fijaciones están ausentes



Foto 25. Fijación faltante en el Pk 4,975 (con funda obstruida)

No es posible determinar si la falta de unión se debe a la obstrucción de la funda que impidió la colocación del tirafondo o si la contaminación de la funda es la consecuencia de la ausencia del tirafondo y del tapón obturador (los durmientes son normalmente entregadas por el fabricante con un tapón obturador sobre las fundas).

- las fijación han sido colocadas con una doble lamina de resorte metálica



Foto 26. Fijación colocada con dos láminas de resorte en el Pk 4,985

Esta situación puede resultar un error en la colocación o una acción voluntaria para compensar una incapacidad de apretar la unión (fondo de la funda obstruido).

3.2.2.5 Balasto

El balasto se encuentra formado por elementos de roca basáltica y de elementos de roca caliza. Estos materiales tienen resistencia a la abrasión diferente. Se comprueba un desgaste acelerado de los elementos calcáreos.



Foto 27. Balasto de tipo diferente en Pk 9,030

Este desgaste conduce a redondear los pedazos de balasto lo que es perjudicial para el posicionamiento y configuración (imbricación) de los pedazos entre ellos y consecuentemente para la estabilidad de la nivelación y de la geometría de la vía.



Foto 28. Diferencia de desgaste entre un elemento de origen basáltico y un elemento de origen calcáreo en Pk 10,800



Foto 29. Balasto redondeado por el movimiento (oscilación vertical) de los durmiente en Pk 10,800 vía 1

Por otro lado la atrición del balasto (desgaste) produce un polvo que taponan los intersticios entre elementos, lo que, con el tiempo, perjudica la circulación del agua y contamina la capa de balasto, afectando a la estabilidad de la nivelación de la vía.



Foto 30. Balasto bajo durmiente contaminado por finos y que retienen la humedad en Pk 4,765 vía 1

A causa de los defectos de riel y de las vibraciones generadas, los granos calcáreos se redondean rápidamente y contaminan el espesor de balasto lo que es nefasto para la nivelación de la vía.

Por otro lado diversos defectos de instalación son observados:

- Contaminación por arcilla:



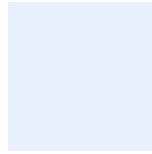
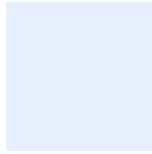
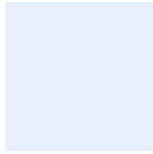


Foto 31. Contaminación por arcilla en estación de Tlahuac

○ Contaminación por elementos finos:



Foto 32. Elementos finos en el balasto Pk 6,015 vía 2

○ Mala granulometría:



Foto 33. Granulometría demasiado pequeña Pk 5,055

El desgaste prematuro comprobado sobre los elementos de balasto de origen calcáreo parece anormal y hace temer dificultades importantes en el drenaje de la vía y en el mantenimiento de sus características geométricas.

3.2.2.6 Juntas aislantes pegadas

La separación entre los durmientes de las juntas aislantes pegadas se adaptada a la inserción de las conexiones inductivas en vía pero esta inserción impide un refuerzo en la separación entre los durmientes a la altura de la junta. Esta configuración no favorece la estabilidad de la nivelación de la vía.

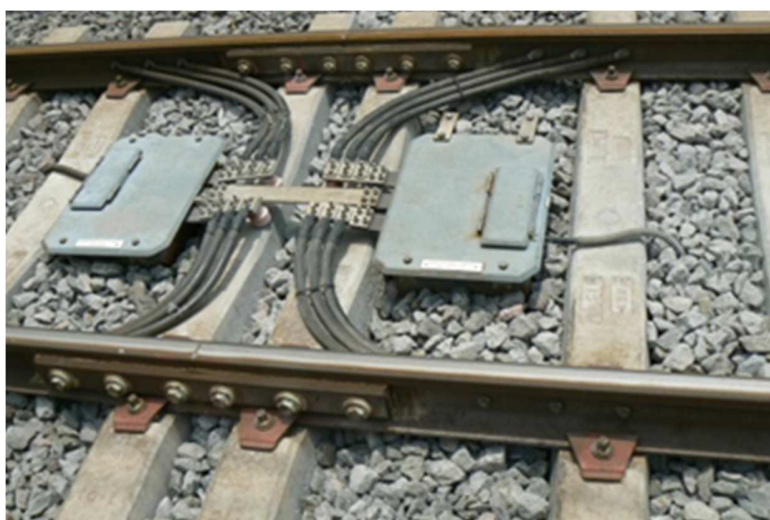


Foto 34. Juntas aislante pegadas con durmientes centrales inestables Pk 16,490 vía 1

Se comprueban rastros de fricción en la parte superior de las bridas en varias juntas. El origen parece ser el rozamiento de la pestaña de las ruedas.



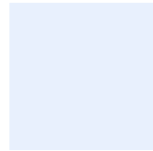
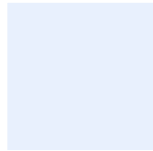
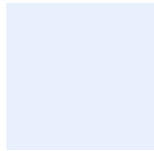
Foto 35. Junta aislante con rastro sobre la brida en la estación de Tlahuac

3.2.2.7 Aparatos de vía

Melladuras importantes son observadas sobre ciertos aparatos de vía particularmente en la estación y en el taller de Tlahuac.



Foto 36. Aguja mellada en estación de Tlahuac



Un arrastre de metal o una melladura en una aguja modifica el punto de contacto de la pestaña sobre la aguja y puede entrañar descarrilamiento por subida de la rueda sobre el riel.

3.2.2.8 *Aparatos de dilatación*

Se está chequeando si hubo un proceso de liberación de las tensiones luego de las instalaciones del conjunto de rieles.

3.2.2.9 Nivelación

Los defectos de superficie del riel generan defectos de nivelación.



Foto 37. Defectos de nivelación en curva 7

La presencia del contrarriel en las curvas (fila baja) molesta los trabajos por bateado mecánico pesado.

La sustitución masiva de durmientes perturba la nivelación y necesitará varios trabajos y acciones correctivas para volver a una calidad de geometría correcta a causa de los asientos bajo los nuevos durmientes

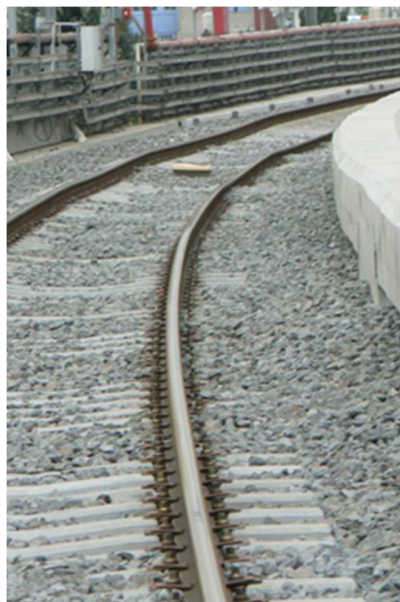


Foto 38. Defectos de nivelación en curva 10 vía 2 en respuesta a sustitución de durmientes

La sustitución de más de 4000 durmientes crea tantas zonas sensibles cuya nivelación tiene que ser vigilada y corregida.

3.2.3 Síntesis

El estado de las infraestructuras es alarmante a causa del número de desórdenes comprobados y de su velocidad de aparición y de evolución considerando que la línea inició su explotación hace menos de dos años.

Tal como se indica anteriormente, la mayoría de los defectos (y los más graves) conciernen a los rieles y afectan a las curvas. Los problemas de interacción riel / rueda e interfaz infraestructura / material rodante parecen ser la causa de la mayoría de los defectos que afectan a los rieles pero estas situaciones no deben enmascarar otras causas de las averías y problemática de la línea 12.

Así, según las constataciones hechas en la visita de la vía, el origen de las degradaciones puede ser clasificado en dos categorías:

- Problemas de diseño y de realización:
 - mala interacción riel / rueda e interfaz infraestructura / material que rueda: desgaste de los rieles en curva,
 - fabricación: agrietamiento y rotura de durmientes, composición del balasto,
 - puesta en ejecución: soldaduras, presión excesiva de las fijaciones, defectos de geometría,...
- Consecuencias de los defectos de riel y de rueda:

- agravación de los defectos de rieles,
- agravación de los defectos de durmientes,
- rotura de fijaciones
- desgaste del balasto,
- deterioro de la nivelación

Los análisis y las investigaciones complementarias que se realizarán en el marco de este análisis, deben permitir comprender mejor los fenómenos observados sobre la línea 12.

3.2.4 Investigaciones complementarias

Más allá del análisis documental de concepción de la línea y de la realización de los trabajos, investigaciones complementarias fueron llevadas a cabo:

- El análisis detallado del historial de aparición y de seguimiento (control) de los defectos así como la comparación con el historial de los trabajos y las acciones correctivas iniciadas ; estos análisis cruzados deben permitir precisar la cronología de aparición de los desgastes y estimar su ciclo de evolución;
- La presencia de contrarrieles y su finalidad; el papel de estos contrarrieles:
 - Limitar las consecuencias de un descarrilamiento: en este caso, se colocaría un riel de seguridad en el eje de la vía, lo que favorecería el bateado mecánico;

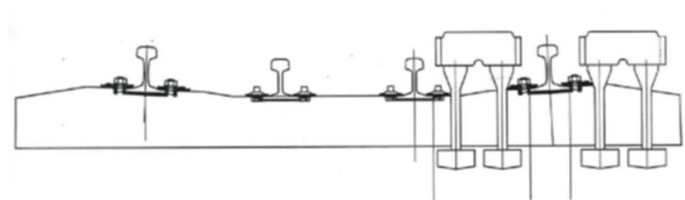
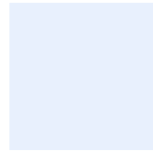
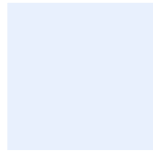
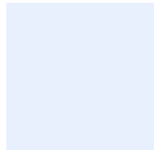


Figura 2. Esquema de bateo mecánico

- Favorecer la inscripción de los vehículos en las curvas: en este último caso, se tiene que realizar un estudio de la interfaz riel / rueda y del impacto de la inscripción de los vehículos en curva;
- La adaptación de la fijación Nabla Evolution al patín del riel tipo 115 RE; a causa del perfil del patín de este riel, sólo la arista del aislante plástico asegura el contacto con el patín contrariamente al riel UIC.

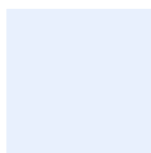
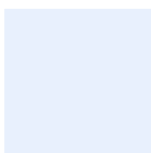
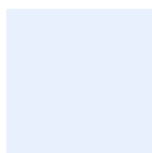


En complemento del análisis que consistió en un examen simple y visual de los rieles y alguna toma de medidas manual, se requieren controles complementarios en vía:

- Ciertas zonas son sujetas a la aparición de fisuras del metal; esta fisuración parece sólo ser superficial pero se preconiza un control por ultrasonidos de estas zonas;
- Las soldaduras aluminotérmicas y las juntas de los rieles presentan anomalías en la zona de rodadura entre los dos rieles; una comprobación de la inclinación de los rieles es necesaria así como un control por regla electrónica de las soldaduras;
- Los valores de amplitud y de longitud de onda del desgaste ondulatorio deben ser objeto de un registro;
- Los sondeos del balasto bajo durmientes son necesarios para verificar los espesores puestos en obra, la granulometría y la limpieza del balasto; estos sondeos también permitirán verificar el estado de la superficie inferior de los durmientes.

Finalmente, deben realizarse controles de conformidad (geometría, dureza, resistencia, composición,...) sobre los siguientes elementos del sistema de vías:

- Durmientes
- Balasto,
- Rieles.



3.3 Análisis del trazado de vía

3.3.1 Trazado en planta

3.3.1.1 Radio mínimo y Longitud mínima de los elementos

En la visita del tramo en viaducto de la línea, Systra ha constatado diferentes problemas en las curvas de un radio inferior a 380m.

El objeto de estudio de Systra concierne únicamente el tramo en viaducto pero en el caso del trazado de la vía se hará una evaluación general del conjunto de la línea.

Los problemas de un trazado con curvas de radio pequeño ya fueron previstos en la Memoria de Cálculo - Proyecto de implantación de vía, trazo y perfil. PMDF-11-VI. 13-612000-III-0001-10296-M00:

§1.1.2. Radio de curvaturas (R)

Los inconvenientes de un trazo con curvas de radio pequeño ($R < 250m$) no se limitan a la reducción de velocidad sino que traen consigo las siguientes consecuencias:

En la curva, la diferencia de rieles interior y exterior comienza a ser significativa, causando que las ruedas mancomunadas no compensen la diferencia de velocidad requerida provocando que las ruedas exteriores se deslicen sobre el riel exterior, generando así fuertes vibraciones y desgastes mayores en los rieles.

Los dos ejes del mismo bogie no se orientan de manera radial generando esfuerzos de inscripción del bogie en la curva que se transforman en resistencia al desplazamiento y desgaste ondulatorio de los rieles.

*Para el diseño de curvas horizontales de **vías principales** del Sistema de Transporte Colectivo Metro, habrá de considerarse un **radio mínimo normal de 250m** y un **radio mínimo excepcional será de 200m**.*

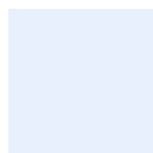
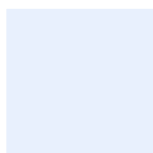
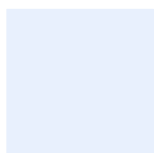
En lo relativo a la longitud mínima, en la Memoria de Cálculo se encuentra la siguiente información:

§1.1.7. Longitud mínima de los elementos del alineamiento horizontal

La duración de marcha, a través de un elemento del trazo horizontal ya sea una recta o una curva (inclusive sus longitudes de transición) no deberá ser menor a 1.5 seg. Así pues, la longitud mínima de las rectas o curvas será de 16.000m.

Esta longitud mínima de 16m resulta de considerar una velocidad en línea de 38.4 km/h. Se constata que esta velocidad no es coherente con la velocidad del proyecto. Hemos considerado como la velocidad de referencia en curva de 70 km/h indicada en la página 22 de la Memoria de Cálculo, obtenemos una longitud mínima de 30 m.

Notamos también una imprecisión respecto a la longitud mínima de la curva, ya que este valor no ha de incluir la longitud de las curvas de transición.



En el caso particular de las curvas 11 y 12, se trata de una curva en S con un tramo de alineación recta de 16m entre las dos clotoides de cada curva. Esta longitud del tramo recto es inferior a la recomendada por SYSTRA y hubiera sido preferible realizar un punto de inflexión entre ambas clotoides sin tramo recto entre ellas.

Tabla 9. Resumen de las curvas de radio inferior a 380 m donde existen elementos de trazado que no cumplen la longitud mínima exigida:

MEMORIA DE CALCULO							ELABORACION PROPIA						
Num	PI	RC	Lcl	V	hp	i	PI Origen Clotoide u Origen Alineacion	PI Fin Clotoide	PI Origen clotoide	PI Fin Clotoide o Fin Alineacion Recta	L cl	L-Alineacion Recta o L- Curva m	L < 30m 30
		m	m	Km/h	mm	mm					m		
1		110					3 968	3 968	4 139	4 139		171	
AR							4 139			4 165		26	X
2		112.1					4 165	4 165	4 217	4 217		52	
3	4+723.845	200	62.3	70	160	129	4 589	4 651	4 780	4 842	62.2	129	
7	6+337.987	200	62.3	70	160	129	6 167	6 230	6 410	6 473	62.2	181	
AR							6 473			6 497		25	X
9	6+749.705	20000	0	90	0	5	6 741	6 741	6 758	6 758	0	17	X
11	7+878.522	200	62.3	70	160	129	7 718	7 781	7 947	8 009	62.2	166	
AR							8009			8030		20	X
12	8+193.749	200	62.3	70	160	129	8 030	8 092	8 264	8 326	62.2	172	
15	10+902.274	250	72	80	162	140	10 809	10 881	10 921	10 993	72.0	40	
16	11+303.089	225	67	75	161	134	11 182	11 249	11 349	11 416	67.1	100	
17	11+754.798	200	62.3	70	160	129	11 637	11 699	11 800	11 862	62.2	100	
AR							11 862			11 889		27	X
18	11+899.734	3000	0	80	0	25	11 889	11 889	11 910	11 910	0.0	21	X
AR							11 910			11 927		17	X
19	11+937.901	3000	0	90	0	32	11 927	11 927	11 949	11 949	0.0	21	X
20	12+218.328	3000	0	70	0	19	12 210	12 210	12 227	12 227	0.0	17	X
AR							12 227			12 243		17	X
21	12+252.096	3000	0	70	0	19	12 243	12 243	12 261	12 261	0.0	18	X
22	12+592.487	200	62.3	70	160	129	12 506	12 568	12 614	12 676	62.2	46	
24	14+222.548	4000	0	90	0	24	14 210	14 210	14 235	14 235	0.0	25	X
AR							14 235			14 254		19	X
25	14+265.999	4000	0	90	0	24	14 254	14 254	14 278	14 278	0.0	24	X
27	14+960.240	200	62.3	70	160	129	14 800	14 862	15 029	15 091	62.2	166	
28	15+286.692	200	62.3	70	160	129	15 164	15 226	15 336	15 398	62.2	109	
30	16+207.288	300	75.6	85	160	124	16 033	16 109	16 288	16 364	75.6	180	
32	16+863.443	350	80	90	160	113	16 756	16 836	16 889	16 969	80.0	54	
34	17+359.143	300	62.3	70	160	33	17 286	17 348	17 369	17 432	62.2	21	X
37	19+185.601	200	53.4	60	160	52	18 956	19 010	19 272	19 326	53.3	263	
40	19+865.962	800	16.5	74.25	40	41	19 839	19 855	19 877	19 893	16.5	22	X
43	20+661.391	250	62.3	70	160	71	20 583	20 646	20 676	20 738	62.2	30	
AR							20 738			20 758		20	X
44	20+813.812	250	40	55	131	12	20 758	20 798	20 828	20 868	40.0	30	
45	21+225.193	2100	0	90	0	46	21 207	21 207	21 243	21 243	0.0	36	
AR							21 243			21 259		16	X
46	21+278.391	2100	0	80	0	36	21 259	21 259	21 297	21 297	0.0	38	
52	23+699.835	3000	0	90	0	32	23 689	23 689	23 711	23 711	0.0	22	X
53	24+259.658	280	62.3	70	160	46	24 044	24 106	24 370	24 432	62.2	264	

MEMORIA DE CALCULO							ELABORACION PROPIA						
Num	PI	RC	Lcl	V	dp	i	PI Origen Clotoide u Origen Alineacion Recta	PI Fin Clotoide	PI Origen clotoide	PI Fin Clotoide o Fin Alineacion Recta	L cl	L-Alineacion Recta o L- Curva	L < 30m
		m	m	Km/h	mm	mm					m	m	30
54	25+190.579	255	62.3	70	160	71	24 988	25 050	25 290	25 353	62.2	241	
55	25+671.848	280	62.3	70	160	46	25 567	25 629	25 711	25 773	62.2	82	
56	25+912.954	280	54	69.42	140	63	25 804	25 858	25 963	26 017	54.0	105	
57	26+354.771	8000	0	90	0	12	26 340	26 340	26 369	26 369	0.0	29	X
59	27+218.966	800	20	72	50	26	27 176	27 196	27 242	27 262	20.0	45	
AR							27 262			27 279		17	X
60	27+330.241	750	22	72	55	27	27 279	27 301	27 359	27 381	22.0	58	
61	27+660.369	4000	0	90	0	24	27 649	27 649	27 672	27 672	0.0	24	X
64	28+581.084	250	46.7	60	140	30	28 520	28 566	28 595	28 642	46.7	29	X
65	29+053.710	225	53	60	159	30	28 985	29 038	29 068	29 121	53.0	29	X
66	29+224.351	260	44.7	60	135	26	29 171	29 216	29 232	29 277	45.0	16	X

3.3.1.2 Peralte máximo, insuficiencia de peralte, velocidad máxima

Los valores indicados en la Memoria de Calculo son los siguientes:

- Velocidad de operación máxima en vía libre: 90 km/h
- Velocidad de operación máxima en Patios y Talleres: 20 km/h
- Escantillón o trocha de vía: 1435 mm
- Peralte teórico: $ht = 11.8 V^2/R$
- Peralte práctico: aproximadamente corresponde a 2/3 del valor teórico ≤ 160 mm
- Insuficiencia de peralte: $I = ht - hp \leq 150$ mm
- Velocidad de variación del peralte: $di/dt = 75$ mm/seg

Analizando parcialmente el eje en planta del trazado de las vías, observamos ciertas incoherencias en los valores del peralte práctico respecto al método de cálculo preconizado:

MEMORIA DE CALCULO								ELABORACION PROPIA				
Num	PI	RC	Lcl	V	ht	hp	l	ht	hp (2/3ht)	l	hp ≤160mm	l
		m	m	Km/h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
3	4+723.845	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
7	6+337.987	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
11	7+878.522	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
12	8+193.749	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
15	10+902.274	250	72	80	302	162	140	302	201	101	160	142
16	11+303.089	225	67	75	295	161	134	295	197	98	160	135
17	11+754.798	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
22	12+592.487	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
27	14+960.240	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
28	15+286.692	200	62.3	70	289	160	129	289	193	96	160	129
30	16+207.288	300	75.6	85	284	160	124	284	189	95	160	124
32	16+863.443	350	80	90	273	160	113	273	182	91	160	113
34	17+359.143	300	62.3	70	193	160	33	193	128	64	128	64
37	19+185.601	200	53.4	60	212	160	52	212	142	71	142	71
43	20+661.391	250	62.3	70	231	160	71	231	154	77	154	77
44	20+813.812	250	40	55	143	131	12	143	95	48	95	48
53	24+259.658	280	62.3	70	206	160	46	207	138	69	138	69
54	25+190.579	255	62.3	70	231	160	71	227	151	76	151	76
55	25+671.848	280	62.3	70	206	160	46	207	138	69	138	69
56	25+912.954	280	54	69.42	203	140	63	203	135	68	135	68

Tabla 10. Incoherencias en los valores del peralte práctico respecto al método de cálculo preconizado

3.3.2 -Perfil longitudinal

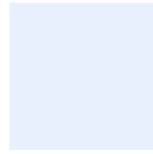
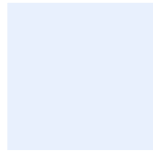
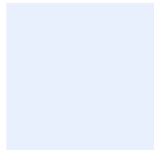
Sin observaciones

3.3.3 Vías secundarias y Vías de Patio y talleres

Las vías secundarias corresponden a tramos sin presencia de pasajeros, en los que los trenes circulan a baja velocidad y la vía está instalada sin peralte.

Debido al fuerte desgaste en las curvas 1 (R=110m) y curva 2 (R=112m) de las vías secundarias, se recomienda preconizar:

- La instalación de engrasadores fijos en la vía,
- Realizar un sobre ancho de la vía a 1445mm, conforme a la norma UIC-710.



3.3.4 Correcciones recomendadas

Siendo el trazado de las vías casi inmodificable por la realización de la obra en viaducto y en túnel, la actuación posible a nivel de trazado es la reducción del peralte de las vías y en consecuencia la reducción de velocidad.

Systra recomienda la reducción del peralte máximo a 100mm y un valor máximo de la insuficiencia de 100mm (escenario 1) Esta decisión está justificada teniendo en cuenta el sobre espesor de balasto en el riel elevado consecuente de un peralte a 160mm según se ha descrito en el parágrafo 3.4.4.

Se presentan también dos otras posibilidades, la norma recomendada por la SNCF (escenario 2) y la calculada a partir de la limitación de la variación de peralte a 1mm/m (escenario 3)

En las tablas se indica el peralte practico (hp) y las velocidades máxima (Vd) y mínima (Vi) recomendadas.

La lista de curvas que concierne la reducción de peralte se presenta por escenario en las tablas de las páginas siguientes:

MEMORIA DE CALCULO									
CURVA	PI	RC	Lcl	V	hp	i	f2 =	p =	Ai / At =
		m	m	Km/h	mm	mm	m/s ²	mm/m	mm/s
3-1	4+724.838	201.8	64.486	55	150	27	0.176	2.3	6.4
3-2	4+722.852	197.75	77.287	70	160	132	0.866	2.1	5.3
5-1	5+638.330	390	47	60	80	29	0.189	1.7	10.3
5-2	5+660.538	500	49	65	70	30	0.194	1.4	10.9
7-1	6+339.273	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
7-2	6+336.701	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
11-1	7+877.347	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
11-2	7+879.834	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-1	8+195.008	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-2	8+192.599	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
15-1	10+902.082	247.8	84.97	60	140	31	0.206	1.6	6.2
15-2	10+902.928	251.85	72.266	60	140	29	0.188	1.6	6.6
16-1	11+302.261	222.8	79.477	65	160	64	0.417	2	14.5
16-2	11+303.699	226.85	67.275	65	160	60	0.391	2	16
17-1	11+755.967	201.85	62.587	65	160	87	0.569	2.6	25.1
17-2	11+754.372	197.8	74.163	65	160	92	0.602	2.2	22.4
22-1	12+586.308	201.8	62.579	55	150	27	0.176	2.3	6.6
22-2	12+597.421	205.5	62.3	55	145	29	0.188	2.3	7
27-1	14+959.120	197.8	76.763	60	160	55	0.358	2.1	11.9
27-2	14+961.497	201.85	59	55	150	27	0.176	2.1	6.9
28-1	15+287.536	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
28-2	15+285.848	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
30-1	16+206.450	297.85	88.425	70	160	31	0.223	1.8	7.5
30-2	16+208.126	301.85	75.833	70	160	32	0.206	2	8.1
32-1	16+863.086	347.85	94.155	60	90	32	0.21	0.96	5.7
32-2	16+863.800	351.85	80.211	60	90	31	0.201	1.12	6.4
34-1	17+358.885	350	57.5	60	90	31	0.205	1.56	9.1
34-2	17+359.401	301.85	62.492	60	110	31	0.201	1.76	8.2
37-1	19+187.419	201.8	53.64	50	110	36	0.237	2.1	9.4
37-2	19+183.783	197.7	72.05	45	90	31	0.202	1.2	5.4
43-1	20+661.173	251.8	62.524	50	80	37	0.243	1.3	8.3
43-2	20+659.481	248.05	68.877	55	110	34	0.222	1.6	7.5
53-1	24+258.530	276.5	71.977	60	125	29	0.187	1.7	6.6
53-2	24+260.900	280.3	62.501	55	100	27	0.179	1.6	6.7
54-1	25+189.541	261.178	62.441	50	50	63	0.412	0.8	14
54-2	25+187.197	257.378	71.257	50	50	65	0.423	0.7	12.6
55-1	25+672.088	281.8	62.5	55	100	27	0.174	1.6	6.5
55-2	25+671.140	277.85	78.647	55	100	28	0.186	1.3	5.5

ELABORACION PROPIA						
hp=100mm l=100mm						
ht	hp	l	Vd	Vi	p =	Ai / At =
mm	mm	mm	km/h	km/h	mm/m	mm/s
200	100	100	59	42	1.6	25
200	100	100	58	41	1.3	21
180	80	100	78	52	1.7	46
170	70	100	85	55	1.4	48
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	58	41	1.3	22
200	100	100	58	41	1.4	23
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	58	41	1.4	23
200	100	100	65	46	1.2	21
200	100	100	66	47	1.4	25
200	100	100	62	44	1.3	22
200	100	100	63	44	1.5	26
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	58	41	1.3	22
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	60	42	1.6	27
200	100	100	58	41	1.3	21
200	100	100	59	42	1.7	28
200	100	100	59	42	1.6	26
200	100	100	58	41	1.3	22
200	100	100	72	51	1.1	23
200	100	100	72	51	1.3	26
190	90	100	75	52	1.0	22
190	90	100	76	52	1.1	26
190	90	100	76	49	1.6	37
200	100	100	72	49	1.6	32
200	100	100	59	42	1.9	31
190	90	100	57	39	1.2	22
180	80	100	62	42	1.3	28
200	100	100	65	46	1.5	26
200	100	100	69	49	1.4	27
200	100	100	69	49	1.6	31
200	100	100	70	49	1.6	31
200	100	100	69	49	1.3	24

Tabla 11. Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 1

MEMORIA DE CALCULO									
CURVA	PI	RC	Lcl	V	hp	i	f2 =	p =	Ai / At =
		m	m	Km/h	mm	mm	m/s2	mm/m	mm/s
3-1	4+724.838	201.8	64.486	55	150	27	0.176	2.3	6.4
3-2	4+722.852	197.75	77.287	70	160	132	0.866	2.1	5.3
5-1	5+638.330	390	47	60	80	29	0.189	1.7	10.3
5-2	5+660.538	500	49	65	70	30	0.194	1.4	10.9
7-1	6+339.273	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
7-2	6+336.701	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
11-1	7+877.347	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
11-2	7+879.834	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-1	8+195.008	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-2	8+192.599	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
15-1	10+902.082	247.8	84.97	60	140	31	0.206	1.6	6.2
15-2	10+902.928	251.85	72.266	60	140	29	0.188	1.6	6.6
16-1	11+302.261	222.8	79.477	65	160	64	0.417	2	14.5
16-2	11+303.699	226.85	67.275	65	160	60	0.391	2	16
17-1	11+755.967	201.85	62.587	65	160	87	0.569	2.6	25.1
17-2	11+754.372	197.8	74.163	65	160	92	0.602	2.2	22.4
22-1	12+586.308	201.8	62.579	55	150	27	0.176	2.3	6.6
22-2	12+597.421	205.5	62.3	55	145	29	0.188	2.3	7
27-1	14+959.120	197.8	76.763	60	160	55	0.358	2.1	11.9
27-2	14+961.497	201.85	59	55	150	27	0.176	2.1	6.9
28-1	15+287.536	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
28-2	15+285.848	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
30-1	16+206.450	297.85	88.425	70	160	31	0.223	1.8	7.5
30-2	16+208.126	301.85	75.833	70	160	32	0.206	2	8.1
32-1	16+863.086	347.85	94.155	60	90	32	0.21	0.96	5.7
32-2	16+863.800	351.85	80.211	60	90	31	0.201	1.12	6.4
34-1	17+358.885	350	57.5	60	90	31	0.205	1.56	9.1
34-2	17+359.401	301.85	62.492	60	110	31	0.201	1.76	8.2
37-1	19+187.419	201.8	53.64	50	110	36	0.237	2.1	9.4
37-2	19+183.783	197.7	72.05	45	90	31	0.202	1.2	5.4
43-1	20+661.173	251.8	62.524	50	80	37	0.243	1.3	8.3
43-2	20+659.481	248.05	68.877	55	110	34	0.222	1.6	7.5
53-1	24+258.530	276.5	71.977	60	125	29	0.187	1.7	6.6
53-2	24+260.900	280.3	62.501	55	100	27	0.179	1.6	6.7
54-1	25+189.541	261.178	62.441	50	50	63	0.412	0.8	14
54-2	25+187.197	257.378	71.257	50	50	65	0.423	0.7	12.6
55-1	25+672.088	281.8	62.5	55	100	27	0.174	1.6	6.5
55-2	25+671.140	277.85	78.647	55	100	28	0.186	1.3	5.5

ELABORACION PROPIA						
SNCF l=100mm						
ht	hp	l	Vd	Vi	p =	Ai / At =
mm	mm	mm	km/h	km/h	mm/m	mm/s
151	51	100	51	30	0.8	22
149	49	100	50	29	0.6	18
151	51	100	51	30	0.8	23
149	49	100	50	29	0.7	19
149	49	100	50	29	0.7	20
151	51	100	51	30	0.8	23
151	51	100	51	30	0.8	23
149	49	100	50	29	0.7	20
174	74	100	61	40	0.9	20
176	76	100	62	41	1.1	24
161	61	100	56	35	0.8	20
163	63	100	57	35	0.9	24
151	51	100	51	30	0.8	23
149	49	100	50	29	0.7	19
151	51	100	51	30	0.8	23
153	53	100	52	31	0.8	23
149	49	100	50	29	0.6	18
151	51	100	51	30	0.9	24
151	51	100	51	30	0.8	23
149	49	100	50	29	0.7	19
199	99	100	71	50	1.1	22
201	101	100	72	51	1.3	26
151	51	100	51	30	0.9	26
149	49	100	50	29	0.7	19
176	76	100	62	41	1.2	28
174	74	100	61	40	1.1	25
188	88	100	67	46	1.2	26
190	90	100	68	47	1.4	30
191	91	100	68	47	1.5	30
189	89	100	67	46	1.1	24

Tabla 12. Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 2

MEMORIA DE CALCULO									
CURVA	PI	RC	Lcl	V	hp	i	f2 =	p =	Ai / At =
		m	m	Km/h	mm	mm	m/s2	mm/m	mm/s
3-1	4+724.838	201.8	64.486	55	150	27	0.176	2.3	6.4
3-2	4+722.852	197.75	77.287	70	160	132	0.866	2.1	5.3
5-1	5+638.330	390	47	60	80	29	0.189	1.7	10.3
5-2	5+660.538	500	49	65	70	30	0.194	1.4	10.9
7-1	6+339.273	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
7-2	6+336.701	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
11-1	7+877.347	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
11-2	7+879.834	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-1	8+195.008	201.9	62.595	60	160	50	0.33	3	13.4
12-2	8+192.599	197.85	70.899	60	160	55	0.358	3	12.9
15-1	10+902.082	247.8	84.97	60	140	31	0.206	1.6	6.2
15-2	10+902.928	251.85	72.266	60	140	29	0.188	1.6	6.6
16-1	11+302.261	222.8	79.477	65	160	64	0.417	2	14.5
16-2	11+303.699	226.85	67.275	65	160	60	0.391	2	16
17-1	11+755.967	201.85	62.587	65	160	87	0.569	2.6	25.1
17-2	11+754.372	197.8	74.163	65	160	92	0.602	2.2	22.4
22-1	12+586.308	201.8	62.579	55	150	27	0.176	2.3	6.6
22-2	12+597.421	205.5	62.3	55	145	29	0.188	2.3	7
27-1	14+959.120	197.8	76.763	60	160	55	0.358	2.1	11.9
27-2	14+961.497	201.85	59	55	150	27	0.176	2.1	6.9
28-1	15+287.536	201.85	62.587	60	160	50	0.33	2.2	13.4
28-2	15+285.848	197.8	74.163	60	160	55	0.358	2.2	12.3
30-1	16+206.450	297.85	88.425	70	160	31	0.223	1.8	7.5
30-2	16+208.126	301.85	75.833	70	160	32	0.206	2	8.1
32-1	16+863.086	347.85	94.155	60	90	32	0.21	0.96	5.7
32-2	16+863.800	351.85	80.211	60	90	31	0.201	1.12	6.4
34-1	17+358.885	350	57.5	60	90	31	0.205	1.56	9.1
34-2	17+359.401	301.85	62.492	60	110	31	0.201	1.76	8.2
37-1	19+187.419	201.8	53.64	50	110	36	0.237	2.1	9.4
37-2	19+183.783	197.7	72.05	45	90	31	0.202	1.2	5.4
43-1	20+661.173	251.8	62.524	50	80	37	0.243	1.3	8.3
43-2	20+659.481	248.05	68.877	55	110	34	0.222	1.6	7.5
53-1	24+258.530	276.5	71.977	60	125	29	0.187	1.7	6.6
53-2	24+260.900	280.3	62.501	55	100	27	0.179	1.6	6.7
54-1	25+189.541	261.178	62.441	50	50	63	0.412	0.8	14
54-2	25+187.197	257.378	71.257	50	50	65	0.423	0.7	12.6
55-1	25+672.088	281.8	62.5	55	100	27	0.174	1.6	6.5
55-2	25+671.140	277.85	78.647	55	100	28	0.186	1.3	5.5

ELABORACION PROPIA						
p=1mm/m l=100mm						
ht	hp	l	Vd	Vi	p =	Ai / At =
mm	mm	mm	km/h	km/h	mm/m	mm/s
164	64	100	54	34	1.0	23
177	77	100	55	36	1.0	20
147	47	100	70	40	1.0	41
149	49	100	80	46	1.0	45
163	63	100	53	33	1.0	24
174	74	100	55	36	1.0	21
171	71	100	54	35	1.0	21
163	63	100	53	33	1.0	24
163	63	100	53	33	1.0	24
171	71	100	54	35	1.0	21
185	85	100	63	43	1.0	21
172	72	100	61	40	1.0	23
179	79	100	59	39	1.0	21
167	67	100	57	36	1.0	24
163	63	100	53	33	1.0	24
174	74	100	55	36	1.0	21
163	63	100	53	33	1.0	24
162	62	100	54	33	1.0	24
177	77	100	55	36	1.0	20
159	59	100	53	32	1.0	25
163	63	100	53	33	1.0	24
174	74	100	55	36	1.0	21
188	88	100	69	48	1.0	22
176	76	100	68	45	1.0	25
194	94	100	76	53	1.0	22
180	80	100	74	49	1.0	26
158	58	100	69	42	1.0	33
162	62	100	65	40	1.0	29
154	54	100	52	31	1.0	27
172	72	100	54	35	1.0	21
163	63	100	59	37	1.0	26
169	69	100	60	39	1.0	24
172	72	100	64	42	1.0	25
163	63	100	63	39	1.0	28
163	63	100	63	39	1.0	28
179	79	100	65	44	1.0	23

Tabla 13. Lista de curvas que concierne la reducción de peralte: Escenario 3

MEMORIA DE CALCULO					
CURVA	PI	RC	Lcl	V	hp
		m	m	Km/h	mm
3-1	4+724.838	201.8	64.486	55	150
3-2	4+722.852	197.75	77.287	70	160
5-1	5+638.330	390	47	60	80
5-2	5+660.538	500	49	65	70
7-1	6+339.273	201.85	62.587	60	160
7-2	6+336.701	197.8	74.163	60	160
11-1	7+877.347	197.85	70.899	60	160
11-2	7+879.834	201.9	62.595	60	160
12-1	8+195.008	201.9	62.595	60	160
12-2	8+192.599	197.85	70.899	60	160
15-1	10+902.082	247.8	84.97	60	140
15-2	10+902.928	251.85	72.266	60	140
16-1	11+302.261	222.8	79.477	65	160
16-2	11+303.699	226.85	67.275	65	160
17-1	11+755.967	201.85	62.587	65	160
22-1	12+586.308	201.8	62.579	55	150
22-2	12+597.421	205.5	62.3	55	145
27-1	14+959.120	197.8	76.763	60	160
27-2	14+961.497	201.85	59	55	150
28-1	15+287.536	201.85	62.587	60	160
28-2	15+285.848	197.8	74.163	60	160
30-1	16+206.450	297.85	88.425	70	160
30-2	16+208.126	301.85	75.833	70	160
32-1	16+863.086	347.85	94.155	60	90
32-2	16+863.800	351.85	80.211	60	90
34-1	17+358.885	350	57.5	60	90
34-2	17+359.401	301.85	62.492	60	110
37-1	19+187.419	201.8	53.64	50	110
37-2	19+183.783	197.7	72.05	45	90
43-1	20+661.173	251.8	62.524	50	80
43-2	20+659.481	248.05	68.877	55	110
53-1	24+258.530	276.5	71.977	60	125
53-2	24+260.900	280.3	62.501	55	100
54-1	25+189.541	261.178	62.441	50	50
54-2	25+187.197	257.378	71.257	50	50
55-1	25+672.088	281.8	62.5	55	100
55-2	25+671.140	277.85	78.647	55	100

ELABORACION PROPIA								
hp=100mm l=100mm			SNCF l=100mm			p=1mm/m l=100mm		
hp	Vd	Vi	hp	Vd	Vi	hp	Vd	Vi
mm	km/h	km/h	mm	km/h	km/h	mm	km/h	km/h
100	59	42	51	51	30	64	54	34
100	58	41	49	50	29	77	55	36
80	78	52				47	70	40
70	85	55				49	80	46
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	58	41	49	50	29	74	55	36
100	58	41	49	50	29	71	54	35
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	58	41	49	50	29	71	54	35
100	65	46	74	61	40	85	63	43
100	66	47	76	62	41	72	61	40
100	62	44	61	56	35	79	59	39
100	63	44	63	57	35	67	57	36
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	60	42	53	52	31	62	54	33
100	58	41	49	50	29	77	55	36
100	59	42	51	51	30	59	53	32
100	59	42	51	51	30	63	53	33
100	58	41	49	50	29	74	55	36
100	72	51	99	71	50	88	69	48
100	72	51	101	72	51	76	68	45
90	75	52				94	76	53
90	76	52				80	74	49
90	76	49				58	69	42
100	72	49				62	65	40
100	59	42	51	51	30	54	52	31
90	57	39	49	50	29	72	54	35
80	62	42	76	62	41	63	59	37
100	65	46	74	61	40	69	60	39
100	69	49	88	67	46	72	64	42
100	69	49	90	68	47	63	63	39
100	70	49	91	68	47	63	63	39
100	69	49	89	67	46	79	65	44

Tabla 14. Resumen comparativo de los tres escenarios

3.4 Examen de los componentes de la vía férrea

3.4.1 Rieles

3.4.1.1 Conformidad en relación con el Especificaciones técnicas

El riel es de tipo 115 RE de matiz 900; proviene de dos proveedores:

- Arcelor Mittal España (Ensidesa),
- Tata Francia (Corus Hy).

La geometría del riel Re115 instalado está de conformidad con la geometría proporcionada por Arema 2003 Volume 1 Track – Chapter 4- Rail.

Las pruebas realizadas están de conformidad con la norma EN 13 674-1 Rieles Vignole de masa superior o igual a 46kg/m.

3.4.1.2 Verificación del sistema calidad a través de la producción

Los proveedores Mittal y Tata han provisto todos los documentos. Las pruebas están de conformidad con las recomendaciones de la norma.

3.4.1.3 Análisis de la realización de Largos Rieles Soldados (LRS)

La realización de LRS se realizó en la vía y no en taller. Numerosas soldaduras aluminotérmicas presentan defectos de realización y de geometría. Estos defectos provocan choques al paso de los trenes. Parece que los LRS no han sido liberados, lo que genera tensiones que afectan a la obtención de una geometría de calidad.

Habitualmente, antes de la puesta en servicio, es recomendable realizar un amolado preventivo de los rieles para eliminar los defectos de construcción. Esta operación no se realizó.

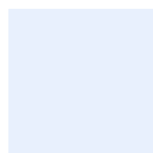
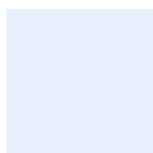
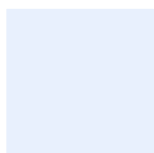
3.4.1.4 Acciones correctivas a poner en marcha después de la auditoria

El riel no presenta defectos de fabricación, sin embargo, su puesta en obra es criticable (calidad de las soldaduras, ausencia de liberación de tensiones).

3.4.2 Durmientes

3.4.2.1 Conformidad en relación con las especificaciones técnicas

La verificación geométrica de los durmientes no amerita ningún comentario. Las dimensiones y las tolerancias son respetadas; sin embargo, al acumularse las tolerancias de los durmientes con las del



sistema de fijación del riel, se encuentran en el rango inferior de valores que da un ancho de riel de entre 1435mm (trocha nominal) y 1434mm (trocha ligeramente inferior). La trocha mínima de la vía es de 1433.5mm.

La verificación de las notas de cálculo se están llevando a cabo por el departamento de obras de ingeniería civil de Systra; los resultados estarán integrados en el capítulo 5.

3.4.2.2 Verificación del sistema calidad durante la producción

PRET e ITISA son empresas certificadas y poseen un sistema de calidad.

Sin embargo, desde la puesta en servicio de la circulación de los trenes, se mostró que muchos de los durmientes de PRET presentaban defectos, como la reacción alcalina, derivados de la calidad del hormigón. Se puede deducir que el sistema de calidad de esta empresa presentó defectos debido a que este fenómeno se manifiesta habitualmente en un periodo más largo.

En cuanto a los durmientes de ITISA que se rompieron, se trata de un problema de instalación y no de fabricación.

Actualmente, la SNCF está realizando pruebas de resistencia para validar la conformidad de los diferentes tipos de durmientes.

3.4.2.3 Análisis de la instalación de la vía

Como se ha descrito en el párrafo anterior, una pequeña cantidad (#50) de durmientes se rompieron. La grieta se encuentra en el centro del durmiente. Estas grietas son clásicas de una instalación errónea al momento de la realización de la vía.

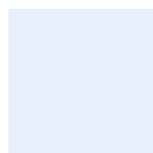
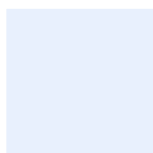
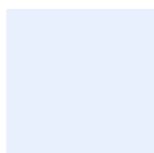
En las zonas de curvas de radio pequeño, se colocaron durmientes que permiten fijar el contrarriel. En cierto número de curvas situadas esencialmente en el viaducto (curvas 3, 5, 7, 11, 12, 17 y 22), se realizó una mezcla entre durmientes de contrarriel y durmientes normales. Esta disposición debe prohibirse debido a que los durmientes tienen una altura distinta que perjudica la calidad y la nivelación del balasto.

Además, el remplazo de 10664 durmientes tuvo por consecuencia la alteración de la geometría inicial de la vía.

3.4.2.4 Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis

Se recomienda:

- Terminar rápidamente el remplazo de los últimos durmientes agrietados,
- Proceder a la homogeneización de las curvas 3, 5, 7, 11, 12, 17, y 22 con un mismo tipo de durmientes (como dentro del túnel) para optimizar el bateado de la vía.



3.4.3 Fijaciones

3.4.3.1 Conformidad en relación con Especificaciones técnicas

La fijación Nabla Evolution es la elegida para la línea 12 en su conjunto.

El diseño de la placa plástica de asiento sobre el riel no es óptimo para el uso de dicha fijación en rieles RE115. Los próximos suministros previstos por el fabricante Railtech corregirán esta ligera anomalía.

Sin embargo, esta anomalía no es perjudicial ya que no ha habido ninguna ruptura del sistema de fijación en curvas de radio superior a 350m (ninguna ruptura en el alineamiento recto).

Las rupturas constatadas son por consecuencia del fuerte desgaste ondulatorio de los rieles.

3.4.3.2 Verificación del sistema calidad a través de la producción

Railtech ha entregado su sistema de aseguramiento de la calidad y su producción está en conformidad con sus procesos de aseguramiento.

Railtech ha realizado varias series de pruebas (conforme a la norma Arema y la norma EN) que resultaron concluyentes.

3.4.3.3 Análisis de la instalación de la vía

Durante la visita a la línea, se desmontaron algunas fijaciones para su examinación. Se constató que el interior de las fundas estaba contaminado. Esta contaminación puede tener como consecuencia fisuras de durmientes debido al rechazo de los tornillos por la presión. El origen de esta contaminación no se ha determinado. ¿Fue por la fabricación de los durmientes, su almacenaje, transporte o preparación?

3.4.3.4 Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis

Únicamente se realizarán acciones correctivas en las curvas de radios pequeños.

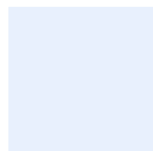
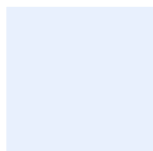
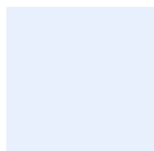
En estas curvas, se deberán cambiar los aislamientos de plástico para obtener un ancho de vía de 1437mm. Estos trabajos se realizarán al mismo tiempo que los trabajos de homogeneización de los durmientes.

3.4.4 Balasto

3.4.4.1 Calidad de la roca

Se encontraron dos tipos de material diferentes en el balasto de la línea: elementos de basalto y elementos calcáreos. El origen de esta mezcla está por determinarse: ¿La mezcla fue provista al tiempo de la construcción o por consecuencia de descargas posteriores?

En la especificación técnica “mexicana” para la provisión del balasto, se precisa que el balasto es el resultado de la trituración de rocas extraídas de canteras de piedras duras (granito, diorita, pórfido,



cuarcita, basalto, etc.). Por la lectura de la especificación “mexicana” parece que la piedra calcárea puede utilizarse y la acción de mezclar los dos tipos de rocas no se prohíbe aparentemente.

- Dureza: la dureza del balasto se define teniendo en cuenta la resistencia al desgaste (ensayo Deval seco y húmedo) y la resistencia a la fractura (ensayo Los Angeles).
- Los anexos 1 y 2 de las especificaciones proveen el método de cálculo para determinar el coeficiente de dureza instantánea (DRI) y dureza global (DRG) con los valores de ensayo de Deval y Los Angeles.
- DRI mini: 15
- DRG mini: 17

Todos los resultados de los ensayos se consideran de conformidad por el laboratorio mexicano designado.

Comentario:

Los estándares internacionales como Arema y otras normas europeas:

- Arema 1997 Volume 1 Track – Chapter 1 Roadway & ballast-2 – Ballast- chapter 2-10-4-e,
- EN 13450 Áridos para balasto (véanse Anexo 8.1).

Recomiendan el uso exclusivo de rocas duras y eliminan las rocas sedimentarias como la calcárea para una colocación de vías con durmientes de hormigón.

A fortiori, la mezcla de los dos tipos de rocas (eruptivas y sedimentarias) está prohibida.

El hecho de mezclar rocas duras y rocas blandas lleva a un desgaste prematuro de las rocas blandas. Los finos creados por este desgaste tapan el balasto que pierde, así, parte de su eficacia mecánica y reduce su capacidad de drenaje. Al término, el sistema de drenaje no será funcional.

3.4.4.2 Espesor puesto en obra

Los espesores puestos en obra están de conformidad con el diseño provisto por PMDF.

Comentario:

El espesor mínimo de balasto bajo la fila baja es de 35cm hasta 40cm. En vía en curva hay que añadir 160mm de espesor correspondientes al peralte y a veces, se observó en el terreno, una altura de 170mm que conduce a un espesor de 57cm bajo la fila alta.

Este espesor es excesivo y contribuye a una inestabilidad de la vía.

SYSTRA recomienda un valor máximo de peralte de 100mm para limitar este espesor.

3.4.4.3 Granulometría

La granulometría está de conformidad con las especificaciones aplicables en México.

En la práctica, y teniendo en cuenta las condiciones de trituración y de cribado, se autoriza cierta dispersión de las dimensiones al interior de una granulometría.

- Clase granular del balasto:
Dimensión maximal: D = 50
Dimensión minimal: d = 25

La norma precisa que los elementos deben ser poliédricos con bordes angulares. Este no es el caso de la calcárea.

Porcentaje de masa que pasa a través del tamiz			
Tamiz	EN 13450	Norma mexicana	Observaciones
80 mm	100%	100%	
63 mm	100%	100%	Rechazar si $\geq 3\%$ no pasa
50 mm	70 à 99%	97%	Rechazar si 20% no pasa
40 mm	30 à 65%	26 à 60%	Rechazar si $\leq 21/\geq 65\%$ no pasa
31.5 mm	1 à 25%		
25 mm		5%	Rechazar si $\leq 90\%$ no pasa
*22.4 mm	0 à 3%		
16 mm		99%	Rechazar si $\leq 98\%$ no pasa
31.5 à 50 mm	$\geq 50\%$		
*Se permite utilizar un tamiz de 25 mm en lugar de un tamiz de 22.4 mm con una tolerancia de 0 a 5%.			

Tabla 15. Comparación de las normas europea y mexicana

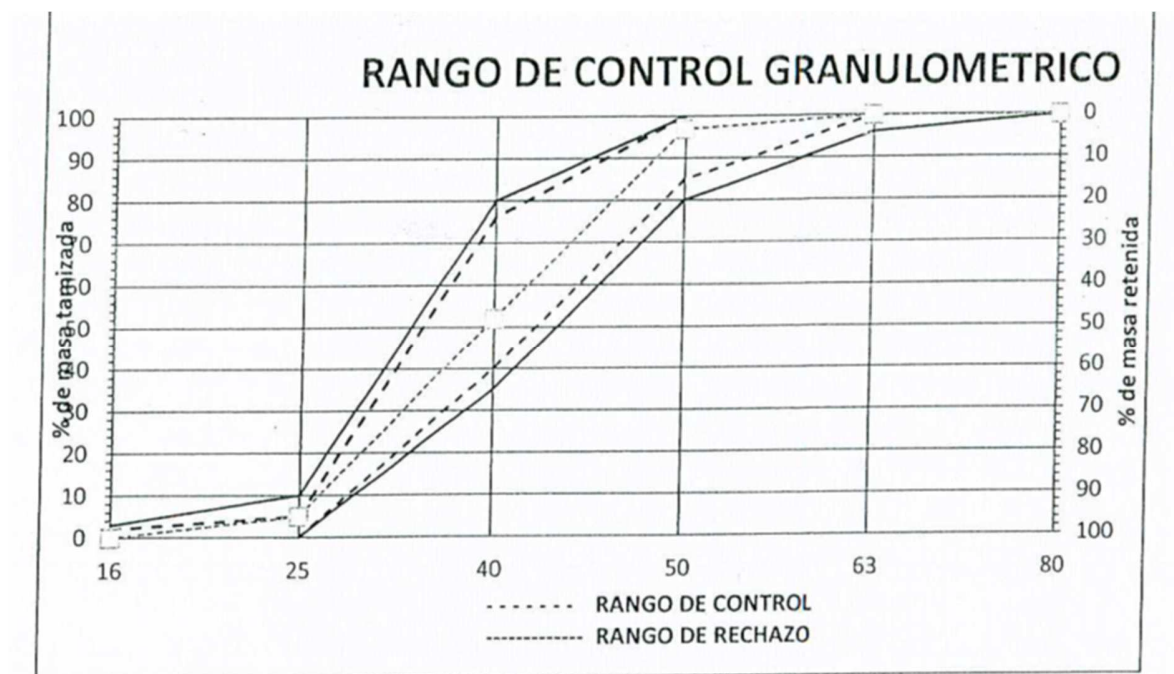


Figura 3. Curva granulométrica mexicana

Por la lectura de esta curva granulométrica, parece que el porcentaje de finos autorizados es elevado.

3.4.4.4 Dureza (ensayos LA y Micro-deval)

La dureza está al parejo con los resultados provistos. Sin embargo, se están realizando una serie de pruebas complementarias. Los resultados de las mismas pueden ser distintos a los resultados previos debido a que se ha efectuado una mezcla de basalto/calcrea en las acciones de mantenimiento.

3.4.4.5 Comentarios en relación con las especificaciones técnicas

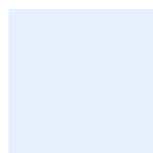
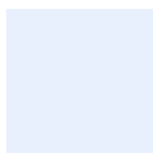
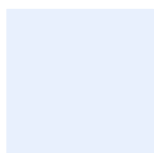
La dureza y la granulometría están de conformidad con las especificaciones técnicas a la lectura de los resultados.

3.4.4.6 Verificación del sistema calidad de la cantera y controles a través de la producción

No se ha demostrado la existencia de un sistema de calidad de la cantera. No se encontraron los documentos.

3.4.4.7 Acciones correctivas a poner en marcha

Hace falta prohibir el uso de calcrea para conservar un solo tipo de balasto basáltico.



Disminuir el espesor de balasto por medio de una disminución de los peraltes en las curvas cerradas donde el peralte es superior a los 100mm.

En las curvas en las que se disminuirá el espesor de balasto, es conveniente sustituir el balasto si ha sido objeto de una mezcla de calcárea/basalto y remplazarlo por un balasto basáltico.

3.4.5 Aparatos de vía

3.4.5.1 Conformidad en relación con especificaciones técnicas

Los aparatos de la vía y los aparatos de dilatación están de conformidad con el Especificaciones técnicas.

3.4.5.2 Verificación del sistema calidad a través de la producción

Vossloh Cogifer presentó todas las pruebas reverentes al seguimiento de fabricación y del sistema de calidad.

No hay comentarios particulares en referencia a la instalación de los aparatos de la vía.

3.4.5.3 Acciones correctivas a poner en marcha después de la auditoria

Algunos aparatos presentan fallas resultantes del desgaste de las ruedas.

En ciertos aparatos muy utilizados, como en Atlatilco y Mixcoac, hay desgaste ondulatorio. Este desgaste ondulatorio es del mismo tipo que el desgaste de las curvas cerradas en el viaducto. Las fallas son equivalentes y provenientes del contacto del riel y la rueda.

La presencia de desgaste ondulatorio sobre la vía desviada de los aparatos muestra el impacto del valor del radio en este desgaste.

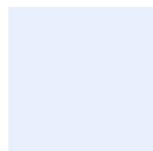
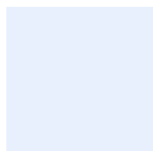
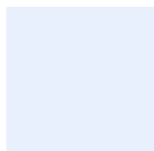
3.4.6 Contrarriel

3.4.6.1 Conformidad con la especificación técnica

No se ha encontrado la documentación que determine el uso de contrarrieles. Solamente se proveyeron las disposiciones técnicas (plan y dispositivo de montaje).

La justificación de este contrarriel no ha sido provista.

Las investigaciones de otras redes de metro muestran que este tipo de contrarrieles se instala, habitualmente, en las curvas con un radio $\leq 100\text{m}$ y está destinada a retener un eje en el cual la rueda exterior comienza a subir sobre el riel de la fila de radio grande.



3.4.6.2 Verificación del sistema calidad a través de la producción

El riel de contrarriel está de conformidad a la norma EN 13 674-3.

3.4.6.3 Acciones correctivas a poner en marcha después del análisis

En las curvas sencillas, el contrarriel en entrada de la curva se deberá ajustar a una abertura de 60mm, la laguna del contrarriel de salida no se modificará (45mm).

En el caso de las curvas en S:

- las lagunas de entrada del primer contrarriel serán ajustadas a una abertura de 60mm,
- para la segunda laguna de entrada el contrarriel será igualmente ajustado a 60mm,
- la laguna de salida no se modificará (45mm).

3.5 Examen del sistema completo vía férrea

Los diferentes componentes de la vía (rieles, durmientes, sistema de fijación) tomados individualmente, están conformes a las normas internacionales, con la excepción de los elementos de calcárea del balasto. 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 y no la causa de éste.

La calidad geométrica de la vía (medida y registrada por la máquina ME50 del STC) es irregular. La lectura de los registros permite evidenciar los defectos de nivelación longitudinal y transversal de la vía y la mala calidad geométrica de las soldaduras. El remplazo masivo de los durmientes en ciertas zonas ha tenido, igualmente, efectos sobre el deterioro de la geometría.

El desgaste ondulatorio está presente solamente en las curvas con radios inferiores a los 350m y en las vías desviadas de aparatos. El único punto común entre estas zonas es el radio pequeño: los aparatos se colocan sin peralte y se recorren a una velocidad reducida.

El elemento determinante en la causa del desgaste ondulatorio también es el trazado de la vía con curvas de radios inferiores a los 350m. 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.

El origen del problema no parece ser un defecto de los materiales en la obra, sino un problema muy delicado de compatibilidad a nivel de la interfaz riel/rueda donde se tiene un riel que responde al estándar Arema y una rueda fabricada bajo estándares europeos.

4. MATERIAL RODANTE

4.1 Lista de documentos solicitados y recibidos

Numero	Referencia	Documentos
		Estructura del tren
RS_1.100	DIBUJO DE BOGIES FE10	Planos del bogie equipado en versión PDF y Autocad (Si varios tipos, todos los planos)
RS_1.102	ENSAYO DE VALIDACIÓN DIMENSIONAL DEL TREN Y EL BOGIE FE10	Ensayo de validación dimensional del tren y del bogie
RS_1.103	BALANCE DE MASA Y ENSAYO DE PESO FE10	Balance de la masa e informe de ensayo de peso
RS_1.104	RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL BOGIE FE10	Resistencia estructural del bogie
RS_1.105	GALIBO DINÁMICO FE10	Galibo dinámico
RS_1.106	DIBUJOS DE LOS EJES FE10	Planos de los ejes en versión PDF y Autocad
RS_1.108	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL BOGIE FE10	Especificación técnica del bogie
		Rueda
RS_2.100	PERFIL DE RUEDA FE10	Perfil de la rueda
RS_2.101		Características metalúrgicas de la rueda
RS_2.102	DIBUJO DE LA RUEDA FE10	Planos de las ruedas en versión PDF y Autocad
RS_2.103	NOTA TÉCNICA DE LA INTERFAZ RUEDA RIEL FE10	Nota técnica de la interfaz Riel/ rueda
RS_2.104	NOTA TÉCNICA DE DEFINICIÓN DEL PERFIL DE RUEDA FE10	Nota técnica sobre la definición del perfil de rueda
RS_2.105	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA RUEDA FE10	Especificaciones técnicas de la rueda

Numero	Referencia	Documentos
RS_2.106	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA Y FUNCIONAL DEL EQUIPO LUBRICADOR DE PESTAÑA FE10	Especificación técnica del sistema de engrasado de las pestañas
RS_2.107	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA Y FUNCIONAL DEL EQUIPO LUBRICADOR DE PESTAÑA FE10	Especificación funcional del sistema de engrasado de las pestañas
RS_2.108		Seguimiento de consumo del sistema de engrasado de las pestañas
		Comportamiento dinámico
RS_3.100	CÁLCULOS DINÁMICOS FE10	Calculo de los modos de suspensión
RS_3.101	CÁLCULOS DINÁMICOS FE10	Calculo del coeficiente de amortiguamiento
RS_3.102	C.F1.93.551_ Cálculos_Dinámicos_Ed-	Calculo de la estabilidad lineal. Calculo del amortiguamiento mínimo
RS_3.103	C.F1.93.551_ Cálculos_Dinámicos_Ed-	Calculo de la estabilidad no lineal. Simulación de los ciclos limites
RS_3.104	C.F1.92.244	Calculo del rendimiento en las curvas
RS_3.105	C.F1.93.551_ Cálculos_Dinámicos_Ed-	Calculo de la suma de fuerzas laterales H
RS_3.106	C.F1.93.551_ Cálculos_Dinámicos_Ed-	Calculo de la relación Y/Q para cada rueda
RS_3.107	C.F1.93.551_ Cálculos_Dinámicos_Ed-	Calculo de las fuerzas laterales Y_{sq} para cada rueda
RS_3.108	PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DINÁMICO FE10	Procedimiento de prueba de comportamiento dinámico
RS_3.109	PRUEBA DE COMPORTAMIENTO DINÁMICO FE10	Informe de prueba de comportamiento dinámico
RS_3.110	PRUEBA DE CONFORT DINÁMICO FE10	Procedimiento de prueba de confort dinámico

Numero	Referencia	Documentos
RS_3.111	PRUEBA DE CONFORT DINÁMICO FE10	Informe de prueba de confort dinámico
RS_3.112		Calculo del rendimiento "tracción"
RS_3.113	3.112 A 3.117 DESEMPEÑO EN TRACCIÓN FRENADO FE10	Procedimiento de prueba del rendimiento "tracción"
RS_3.114	3.112 A 3.117 DESEMPEÑO EN TRACCIÓN FRENADO FE10	Informe de prueba del rendimiento "tracción"
RS_3.115		Calculo del rendimiento "frenado"
RS_3.116	3.112 A 3.117 DESEMPEÑO EN TRACCIÓN FRENADO FE10	Procedimiento de prueba del rendimiento "frenado"
RS_3.117	3.112 A 3.117 DESEMPEÑO EN TRACCIÓN FRENADO FE10	Informe de prueba del rendimiento "frenado"
RS_3.118	C.F1.93.552_-_Calculo Conicidad Equivalente	Calculo conicidad equivalente
		Mantenimiento
RS_4.100		Documentación de mantenimiento del bogies
RS_4.101		Documento de mantenimiento preventivo de los ejes aplicado actualmente (regla de mantenimiento)
RS_4.102		Documento de perfilado de los ejes en los tornos de foso y en taller (Regla de perfilado)
		Especificación general
RS_5.100	PMPD-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07	Especificación ensayos generales de interfaz tren
G_10		Especificaciones técnicas del material rodante (incluyendo el bogie)

Numero	Referencia	Documentos
G_12		Respuesta a la licitación de CAF para la parte bogie y eje (Respuesta + todos los correos de las negociaciones en este tema)
G_4		Lubricación de la vía

Tabla 16. Lista de documentos Material Rodante

4.2 Diagnóstico

4.2.1 Parque de trenes

- El parque material rodante que circula en la línea 12 se constituye de 30 trenes FE10 (realización CAF).
- Los trenes están constituidos de 7 carros con una longitud total de 141200mm:
- 2 remolques
- 5 motores
- La longitud de las cajas es de aproximadamente 19000mm
- La altura de las cajas es de 3538mm
- La anchura de la caja es de 2800mm
- La masa de un tren es de aproximadamente 235T vacío
- Estos trenes están en el sitio de mantenimiento de Tlahuac.

4.2.2 Estado de los trenes

Durante las visitas realizadas en los talleres de mantenimiento de la línea 12 (Tlahuac), SYSTRA nota una degradación anormal de las ruedas que puede conducir a un riesgo de seguridad.

En efecto, el día de la visita en los talleres de mantenimiento (10/05/2014), sobre los 30 trenes del parque:

- 11 se detuvieron en espera de re-perfilación.
- 12 trenes han sido re-perfilados y están en operación.
- 7 trenes aunque están en espera de re-perfilación, están en operación con los ejes con valores por debajo de la tolerancia de mantenimiento. Especialmente con los qR (Coeficiente residual) de 3,6 mm mientras que el valor mínimo tolerado en servicio es de 6,5 mm.



Foto 39. Pestaña cortada / qR débil

→ El riesgo introducido por los valores de qR muy pequeños es un descarrilamiento a nivel del corazón del aparato de vía porque con un qR tan pequeño, tenemos un "acuchillamiento de la pestaña".

Con el fin de compensar la situación y de mitigar los riesgos relacionados a los pequeños valores de qR, CAF que está encargado del mantenimiento ha instalado un segundo Torno de Ruedas para absorber la cantidad de trabajo de re-perforación de las ruedas.

SYSTRA constata que las ruedas están marcadas sobre su cara interna (por lo tanto existe un contacto con el contrarriel) y que las pestañas han presentado un desgaste anormal sobre esa cara.



Foto 40. Desgaste anormal de la cara interna

En todo caso, los ejes necesitan mucha re-perfilación (en promedio cada 4 meses ya sea alrededor de los 40000 km).

Finalmente, SYSTRA nota que el STC tiene un análisis del tiempo de vida de la ruedas y de su estado, y considera remplazar las ruedas a partir de este año mientras que esta operación estaba inicialmente prevista en 3 o 4 años. Un taller de reparación de las ruedas ya ha sido construido y los equipos están en curso de reparación.

Durante sus visitas, SYSTRA no relacionó los puntos anormales al nivel de los bogies.

4.3 Estudios de los parámetros Material Rodante influyentes sobre la interfaz rueda/riel

4.3.1 Introducción

El comportamiento dinámico de un tren, así como la interfaz rueda/riel dependen de cierto número de parámetros que se puede analizar por separado. Sin embargo, es importante notar que los desempeños de un material rodante se tienen que analizar respecto a los compromisos que se realizarán entre los diferentes parámetros.

4.3.2 Distancia entre las caras internas (Ei) de las ruedas

4.3.2.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
PLANO PARA TORNO FOSO	M.E4.94.101
CONTRACTO N°:8.07.C0 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDF-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-

4.3.2.2 Comparación de los valores específicos al valor retenido por CAF

El valor de Ei del FE10 es de: 1362 +1/-0mm

Las especificaciones técnicas y la respuesta de CAF definen un valor de 1362mm.

4.3.2.3 Comparación de la nominalización en vigor

La ficha UIC 510-2 especifica los valores de distancia siguientes:

- 1360 ± 3 mm para las ruedas de diámetro ≥ 840 mm
- 1361 ± 2 mm para las ruedas de diámetro ≤ 840 mm

4.3.2.4 Ensayos de validación de resultados

Los ensayos de fabricación al salir de la fábrica están conforme a los resultados esperados.

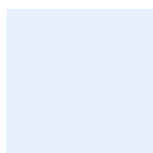
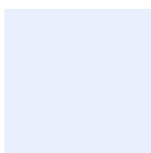
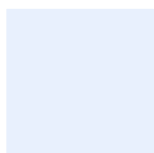
4.3.2.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

4.3.2.5.1 Metros de los tipos MF67 y MF77.

Los materiales de tipos MF67 y MF77 operan sobre las líneas 3, 9, 10, 12 respectivamente y las líneas 7, 8, 13 de la red del metro de París tiene valores de Ei de 1359 +2mm / -0mm.

En cuanto al mantenimiento de estos materiales:

- Si Ei > 1362: Se requiere remplazar la(s) rueda(s) o la(s) llantas.
- Si Ei < 1359: Se requiere mecanizar la(s) rueda(s).



4.3.2.5.2 Trenes suburbanos de tipos MS61, MI79, MI84, y MI2N.

Los materiales de tipo MS61, MI79 (Z8100), MI84 (Z8400), MI2N (Z22500) que operan en la líneas A, B, A y B, respectivamente, de la red parisina de RER tiene valores de Ei de 1359 +2mm / -0mm.

Respecto al mantenimiento de estos materiales:

- Si Ei > 1362: Se requiere remplazar la(s) rueda(s).
- Si Ei < 1358: Se requiere mecanizar la(s) rueda(s), (excepto los bogies portadores MI2N, ver nota)

Nota: Para los bogies portadores de material tipo MI 2N, se requiere mecanizar las ruedas si el valor de Ei < 1359.

4.3.2.5.3 Metros de tipo MF88.

Los materiales de tipo MF88 operan en la línea 7bis de la red parisina de metro, en la que los valores de Ei son 1359 +0mm / -0,5mm.

Respecto al mantenimiento de estos materiales:

- Si Ei > 1362: Se requiere remplazar la(s) rueda(s) o la(s) llanta(s).
- Si Ei < 1357: Se requiere mecanizar la(s) rueda(s).

4.3.2.6 Puntos Difíciles / Riesgos

Riesgo: Notamos que la zona de los valores de Ei se ubica en la zona alta de los valores de distancia autorizados por la norma.

Riesgo: Existe un riesgo de compatibilidad con la trocha de la vía.

4.3.2.7 Plan de acciones

- Comparar el valor de Ei con las tolerancias de la trocha de la vía.

4.3.3 Distancia entre ejes del bogie

4.3.3.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONJUNTO BOGIE MOTOR E2	M.E4.00.002
CONJUNTO BOGIE REMOLQUE E1	M.E4.00.501
CONJUNTO BOGIE REMOLQUE E2	M.E4.00.502
CONJUNTO BOGIE REMOLQUE E1	M.E4.00.503
CONJUNTO BOGIE MOTOR E1	M.E4.00.001
CONTRACTO N°:8.07.CO 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDf-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-

4.3.3.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

El valor de la distancia entre ejes del bogie del FE10 es de: 2500mm

Las especificaciones técnicas y la respuesta de CAF no definen valores particulares.

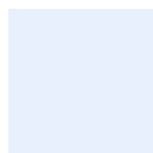
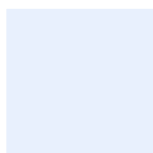
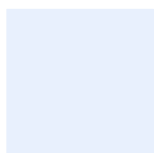
4.3.3.3 Comparación de la nominalización en vigor

La ficha UIC 511 impone que las distancias entre los ejes del bogie del material rodante de pasajeros están comprendidas entre 2000 y 4500 mm.

4.3.3.4 Ensayo de validación y resultados

El valor de distancia entre ejes es de 2500 mm de los bogies del FE10 respetando las disposiciones de esta ficha UIC.

Para esta medida, que depende de muchos parámetros, la validación se realiza a partir de la nota de cálculo. Los resultados obtenidos son coherentes con lo considerado.



4.3.3.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

4.3.3.5.1 Metros de tipo MF77.

Los trenes MF77, operados sobre las líneas 7, 8 y 13 del metropolitano parisino, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2200 mm para los bogies motores y de 2000 mm para los bogies portadores.

4.3.3.5.2 Trenes suburbanos de tipo Z20500.

Los trenes Z20500, operados sobre las líneas C y D de la red RER parisina, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2400mm.

4.3.3.5.3 Trenes suburbanos de tipo MI2N.

Los trenes MI2N (Z22500), operados sobre la línea E de la red RER parisina, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2450mm.

4.3.3.5.4 Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.

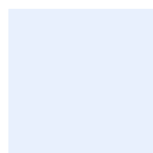
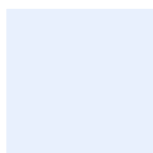
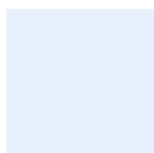
Los trenes FM86, FM95A, FE07, operados sobre la línea A del metropolitano de México, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2200 mm para los bogies motores y 2100 mm para los bogies portadores.

4.3.3.6 Puntos difíciles / Riesgos

Aunque se respetan los aspectos normativos, las distancias entre ejes de 2500 mm se sitúan en la zona alta admitida por las normas. La SNCF confirma que dichos empates, a priori, están poco adaptados a líneas con numerosas curvas de radio de 200m.

4.3.3.7 Plan de acciones

La realización de un estudio detallado que incluya la modificación de las suspensiones primarias y secundarias (para disminuir el par de fuerzas de rotación) permitirá validar si es posible facilitar la inclusión de los ejes en la vía.



4.3.4 Distancia entre los ejes de la caja

4.3.4.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONTRACTO N°:8.07.C0 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDf-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-

4.3.4.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF.

El valor de distancia entre ejes de la caja del FE10 es de: 12600mm.

Las especificaciones técnicas y la respuesta de CAF definen un valor de 12600mm.

4.3.4.3 Comparación la normalización en vigor

Sin objeto.

4.3.4.4 Ensayo de validación y resultados

Los ensayos de tipos realizados en salida de fabricación están conformes.

4.3.4.5 Valores utilizados sobre de los materiales similares

4.3.4.5.1 Metros de tipo MF77.

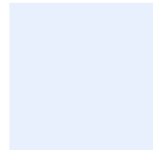
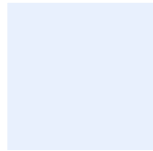
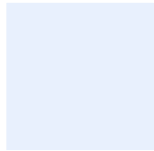
Los trenes MF77, operados sobre las líneas 7, 8 y 13 del metropolitano parisino, tienen las distancias entre ejes de la caja de 10000 mm

4.3.4.5.2 Trenes suburbanos de tipo Z20500.

Los trenes Z20500, operados sobre las líneas C y D de la red RER parisina, tienen las distancias entre ejes de la caja de 17800 mm.

4.3.4.5.3 Trenes suburbanos de tipo MI2N.

Los trenes MI2N (Z22500), operados sobre la línea E de la red RER parisina, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2450mm.



4.3.4.5.4 Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.

Los trenes FM86, FM95A, FE07, operados sobre la línea A del metropolitano de México, tienen las distancias entre ejes del bogie de 2200 mm para los bogies motores y 2100 mm para los bogies portadores.

4.3.4.6 Puntos difíciles / Riesgos

Riesgo: El bogie de dimensionamiento no es óptimo para las líneas que tienen curvas de radios pequeños.

4.3.4.7 Plan de acciones

Sin objeto

4.3.5 Perfil de la rueda

4.3.5.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONTRACTO N°:8.07.CO 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDf-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
PERFIL RUEDA NUEVA FE10	X.06.00445_1
PERFILES ECONÓMICOS FE10	X 06 00126 01-A0
PERFIL_DE_ROD FE10	X.06.00126.01
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-
Apéndice I de licitación	CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LAS RUEDAS Y EJES DEL BOGIE

4.3.5.2 Comparación del valor especificado y valor retenido por CAF

El perfil de la rueda que se utilizó inicialmente por CAF es X.06.00126.01. Este perfil, idéntico al de la línea A, es el que se ha descrito en las especificaciones técnicas del STC en el apéndice I de la licitación “CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LAS RUEDAS Y EJES DEL BOGIE”.

Para reducir los problemas de falsa pestaña aparecidos en octubre de 2013, CAF propuso un perfil nuevo (X.06.00445_1) por requerimiento de la SCT. Este tipo de perfil, que presenta una pendiente de 15% en el extremo de la rueda, se utiliza para limitar los problemas ligados a la deformación por fluencia del metal por el envejecimiento de las ruedas.

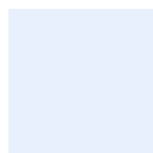
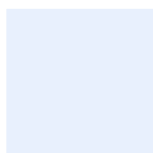
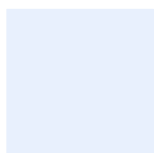
Otros dos perfiles, que se presumen como “económicos” se utilizan para limitar la mecanización de las ruedas durante el re-perfilado (X.06.00126.02 y X.06.00126.03). Dichos perfiles son estudiados para respetar las limitaciones de seguridad y son comúnmente aceptados.

4.3.5.3 Comparación la normalización en vigor

Ficha UIC 510-2.

4.3.5.4 Ensayo de validación y resultados

La validación del desempeño de la rueda se realiza, por una parte, en base a las notas de cálculo:



- Conicidad equivalente,
- Estabilidad lineal,
- Estabilidad no lineal,
- Desempeños en curva,
- Esfuerzo a la vía ,
- Actuación relativa al riesgo de descarrilamiento.

Y por la otra parte, por medio de los ensayos de desempeño dinámico.

Los cálculos y ensayos realizados por CAF muestran que el perfil de rueda permite la operación de los FE10 sobre la línea 12 de México, sin embargo, es posible realizar optimizaciones.

4.3.5.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

4.3.5.5.1 Metros de tipos MF67 y MF77.

Para este tipo de material, el perfil que se utiliza generalmente es el NF-F-03-402 recomendado para las curvas de radio pequeño.

4.3.5.5.2 Trenes suburbanos de tipos MS61, MI79, MI84, y MI2N.

Para este tipo de material, el perfil que se utiliza es el perfil “estándar” definido por la norma EN 13715 (véanse Anexo 8.3 , conforme al perfil UIC ORE S1002, excepto por el valor de 15% de la contra pendiente.

4.3.5.5.3 Metros de tipo MF88.

Para este tipo de material, el perfil utilizado es el perfil UIC ORE S1002.

4.3.5.5.4 Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.

Para estos materiales, el perfil utilizado es el mismo que el perfil inicial de la línea 12.

4.3.5.6 Puntos difíciles / Riesgos

- El perfil de la rueda parece adaptarse a las líneas con curvas de radios pequeños. .
- Ver § 4.3.6.6 conicidad equivalente.
A confirmar por el estudio SNCF.

4.3.5.7 Plan de acciones

- Ver conicidad equivalente

4.3.6 Conicidad equivalente

4.3.6.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CALCULO CONICIDAD EQUIVALENTE	C.F1.93.552
PLANO PARA TORNO FOSO	M.E4.94.101

4.3.6.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

La conicidad equivalente se relaciona a la combinación:

- Del perfil de la rueda
- Del perfil del riel
- De la distancia entre las caras internas de las ruedas
- De la trocha de la vía

El perfil de la rueda que se utilizó inicialmente por CAF es X.06.00126.01. Este perfil, idéntico al de la línea A, es el que se ha especificado en las especificaciones técnicas de la STC en el apéndice A de la licitación “CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LAS RUEDAS Y EJES DEL BOGIE”.

4.3.6.3 Comparación a la normalización en vigor

Sin objeto.

4.3.6.4 Ensayo de validación y resultados

El documento CALCULO CONICIDAD EQUIVALENTE presenta los resultados de cálculo de la conicidad equivalente.

Es importante hacer notar que CAF ha realizado sus cálculos en base a:

- El perfil de la rueda: CAF X.06.00126.01
- El diámetro de las ruedas es de 860mm
- El perfil de riel: 115RE
- Ancho de vía (Teórico): 1.435mm
- Distancia entre Caras Internas (DCI): 1362 (+1;-0) mm
- Inclinación de rieles: 1:20

4.3.6.4.1 Explicación de la nota de cálculo en **alineamiento recto**:

La nota de cálculo presenta notablemente los siguientes resultados:

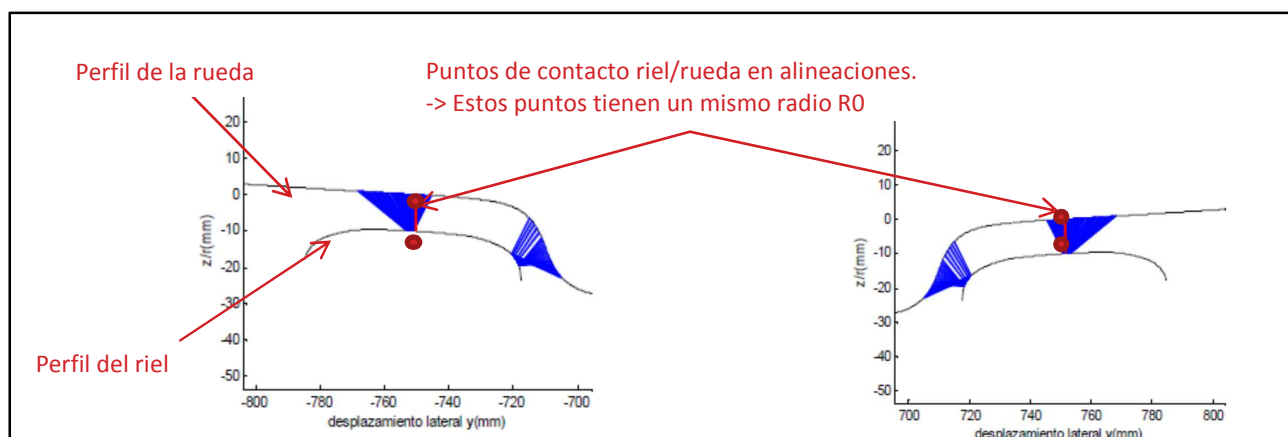


Figura 4. Contacto riel/rueda en alineacion

4.3.6.4.2 Explicación de la nota de cálculo en curvas:

4.3.6.4.2.1 Referencias:

- Sobre el FE10, las ruedas son solidarias al eje. Esto significa que la rueda derecha y la rueda izquierda no tienen siempre la misma velocidad de rotación.
- Al momento de pasar una curva, la rueda exterior tendrá que recorrer una distancia mayor que la rueda interior.

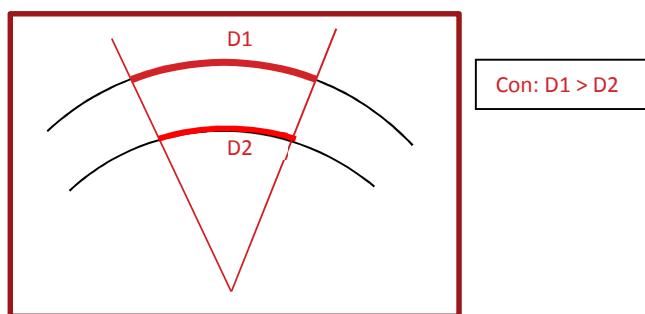


Figura 5. Diferencia G/D de la distancia a recorrer en las curvas

Asimismo, para evitar los deslizamientos al nivel de los puntos de contacto de las ruedas, el eje se colocará de tal manera que la rueda interior esté sobre un radio pequeño y la rueda exterior sobre un radio grande.

4.3.6.4.2.2 Explicación de los gráficos de la nota de cálculo:

La figura siguiente ilustra los desplazamientos de los puntos de contacto entre riel/rueda en curvas de radios pequeños hacia la derecha:

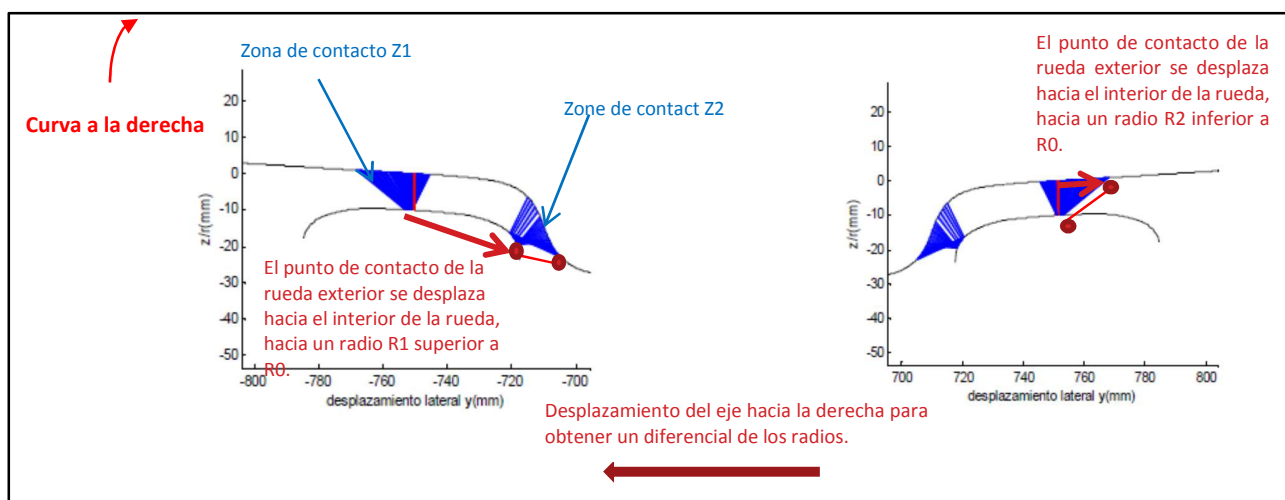


Figura 6. Contacto riel/rueda en curvas de radios pequeños "a la derecha"

El diagrama siguiente representa las diferencias de radios accesibles por los ejes de FE10.

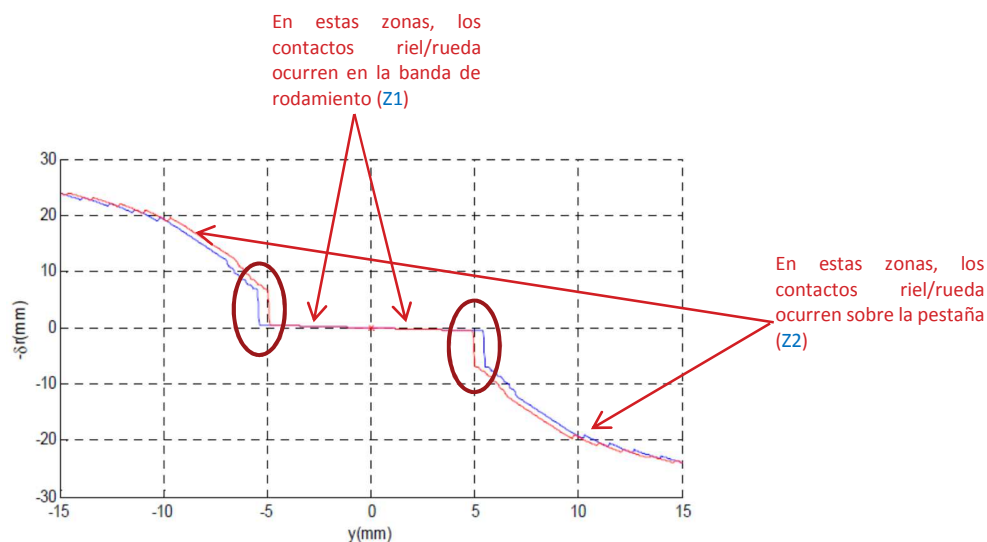


Figura 7. Diferencia de radios G/D en función del desplazamiento transversal

Se ha podido constatar que existen discontinuidades (Círculos rojos) para los desplazamientos transversales superiores a los 6mm aproximadamente (Curva azul).

Estas discontinuidades se relacionan con un desplazamiento discontinuo del punto de contacto rueda/riel de la banda de rodamiento a la pestaña.

En efecto, la interfaz entre el perfil de la rueda y el perfil del riel no permite más de dos zonas de contacto entre la rueda y el riel (Z1 y Z2).

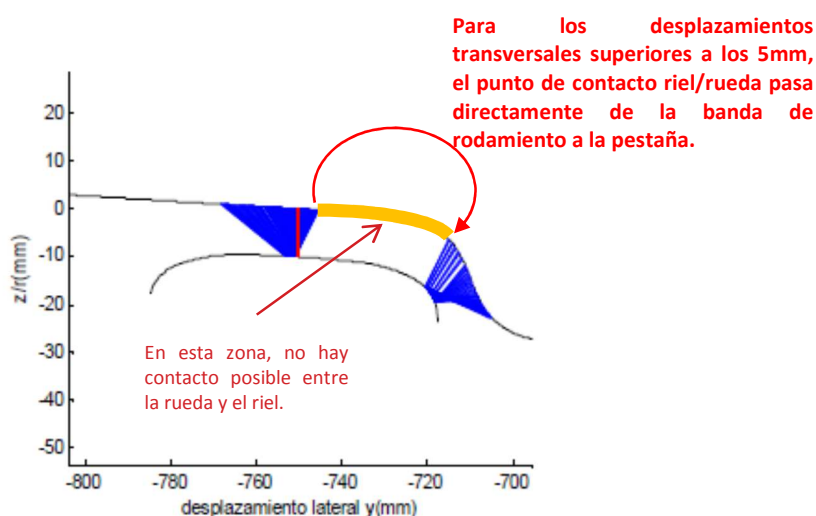


Figura 8. Desplazamiento del punto de contacto en función a los movimientos transversales del eje.

→A este tipo de perfil se le llama “bi-contacto” y se utiliza comúnmente en vías férreas.

4.3.6.4.3 Aplicación al trazado de la línea 12:

La mayoría de las curvas “críticas” de la línea 12 tienen radios de 200m aproximadamente.

Es necesario hacer notar que la diferencia de radio entre las dos ruedas de un mismo eje en las curvas de radios de 200m debe ser de aproximadamente 3,5mm. Al observar la figura siguiente, se nota que para dicha diferencia de radio, el punto de contacto teórico se encuentra en la discontinuidad.

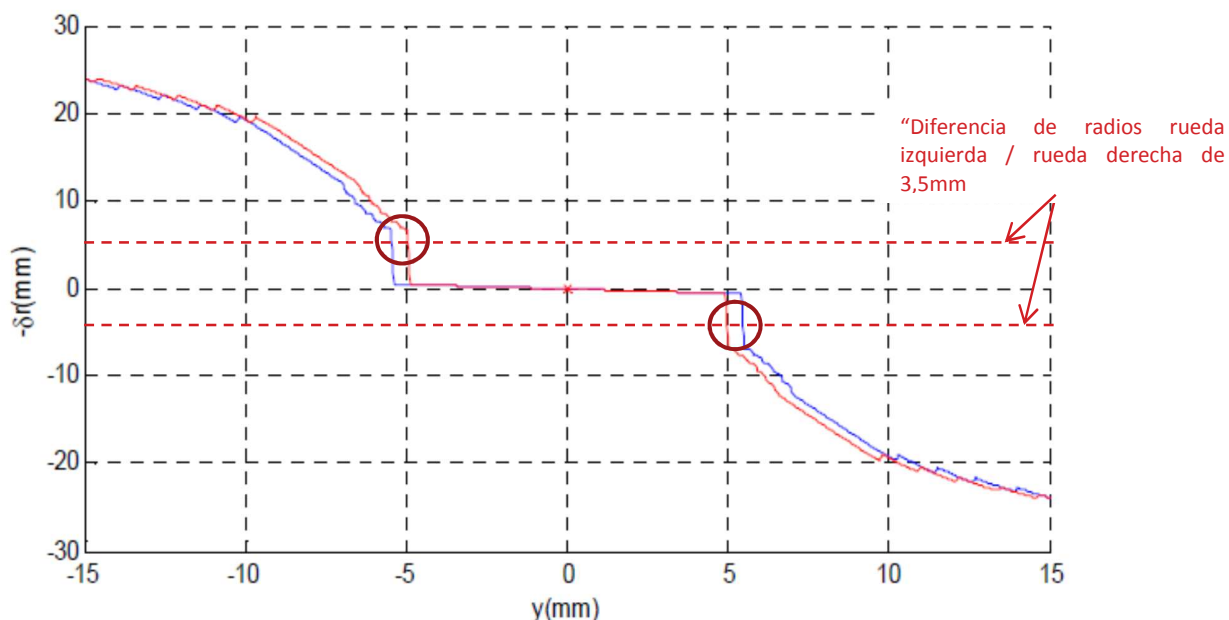


Figura 9. Análisis del desplazamiento de los ejes en las curvas de 200m

➔ El eje no podrá encontrar una posición que permita un diferencial adecuado.

De esto, se pueden prever tres comportamientos:

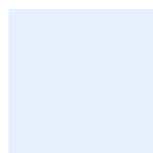
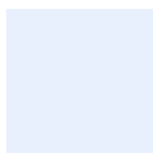
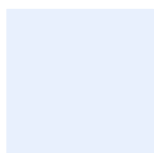
1. Los ejes no encuentran posiciones estables y saltan de la zona de contacto Z1 a la Z2 e inversamente, provocando desgastes prematuros del riel y la rueda.
2. Los ejes se ubican sobre la zona Z1 y se producen fricciones sobre las superficies de contacto (zona Z1 y tabla de rodadura) lo que implica una degradación de la banda de rodamiento de la rueda y de la tabla de rodadura del riel.
3. Los ejes se ubican sobre la zona Z2 y se producen fricciones sobre las superficies de contacto (zona Z2 y cara interna del riel) lo que puede implicar una degradación de la pestaña de la rueda y de la cara interna del riel.

El comportamiento a obtener para el eje es el número 3: Las fricciones entre el riel y la rueda en el punto de contacto se transforman en deslizamientos gracias a la lubricación del punto de contacto (en la zona Z2).

➔ La calidad de la lubricación de la zona Z2 es determinante para la calidad de contacto rueda/riel, del comportamiento dinámico y del desgaste de los rieles y las ruedas.

4.3.6.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.



4.3.6.6 Puntos difíciles / Riesgos

Riesgo: SYSTRA nota que los cálculos han sido realizados con las trochas nominales de la vía. Se debe tomar en cuenta un riesgo si la trocha reales se sitúan en los valores bajos de tolerancia de la trocha de la vía.

Riesgo: Los estudios de la SNCF confirman que la combinación de estos perfiles y de insuficiencias pequeñas derivadas de un peralte máximo de 160mm no permite la existencia del cono equivalente suficiente para atravesar las curvas de manera cuasi-estática, donde hay un ángulo de ataque importante y esfuerzos de inscripción elevados.

Riesgo: Los estudios de la SNCF confirman la discontinuidad al nivel de contacto entre la rueda y el riel en función de los desplazamientos transversales. La aparición de un doble contacto que puede conllevar desgastes prematuros.

Riesgo: La calidad de la lubricación es esencial en este tipo de perfil de rueda.

Riesgo: En la alineación, la conjugación de dichos perfiles con defectos de vías puede provocar desplazamientos de ejes de 6mm. Por lo tanto, el eje se colocará sobre la pestaña, provocando comportamientos “vivos” como el “bamboleo”.

Riesgo: El paso de la zona Z1 a Z2 depende de la distancia de la vía y de la distancia de las ruedas. Si la distancia de vía es inferior a 1435, y si la distancia desde la rueda es superior a los 1363, la superposición del eje sobre la pestaña será más rápida. (El desplazamiento transversal del eje es de 4mm aproximadamente).

4.3.6.7 Plan de acciones

SYSTRA solicita:

- **Un cálculo de la conicidad equivalente con los valores inferiores de la trocha de la vía y de la distancia superior entre las caras internas de las ruedas.**

SYSTRA propone:

- **El estudio del impacto de las modificaciones de los peraltes**
- **El estudio de una modificación del perfil del riel por amolado que pueda mejorar la naturaleza de contacto al suprimir los saltos de contacto.**
- **El estudio de otras combinaciones del conjunto rueda/riel se deberán evaluar para verificar la mejora al paso por las curvas.**

4.3.7 Diámetro de la rueda

4.3.7.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados:

DOCUMENTO	REFERENCIA
RUEDA Ø860	X.03.01116
RUEDA Ø860	X.03.01163
CONTRACTO N°:8.07.CO 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDF-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-

4.3.7.2 Comparación del valor especificado y valor retenido por CAF

El perfil de rueda utilizado inicialmente por CAF es el X.06.00126.01. Este perfil, idéntico al de la línea A, es el especificado en las especificaciones técnicas de la SCT en el apéndice A de la licitación “CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DE LAS RUEDAS Y EJES DEL BOGIE”.

4.3.7.3 Comparación la normalización en vigor

La ficha UIC 510-2 impone para un diámetro de rueda dado una carga límite. En el caso de una rueda:

- de 790 mm la carga límite al eje aceptable es de 18 T/eje
- de 860 mm la carga límite al eje aceptable es de 20 T/eje

4.3.7.4 Ensayo de validación y resultados

Los ensayos de fabricación en salida de fábrica están conformes.

4.3.7.5 Valores utilizados en materiales similares

Los trenes MF77, operados sobre las líneas 7, 8 y 13 del metropolitano parisino, tienen los diámetros de las ruedas entre 860 mm para las ruedas nuevas y de 790 mm para las ruedas usadas.

Los trenes Z20500, operados sobre las líneas C y D de la red RER parisina, tienen los diámetros de las ruedas entre 1020 mm para las ruedas nuevas y de 960 mm para las ruedas usadas.

4.3.7.5.1 Metros de tipo MF67 y MF77.

Para este tipo de material, el diámetro de las ruedas nuevas es de 860mm +4/-0mm

4.3.7.5.2 Trenes suburbanos de tipo MS61, MI79, MI84, y MI2N.

Para este tipo de material, el diámetro de las ruedas nuevas es de:

MATERIAL	DIÁMETRO
MS motor	1050mm +4/-0mm
MS portador	900mm +4/-0mm
MI motor	1020mm +4,3/-0,3mm
MI portador	900mm +4,3/-0,3mm
MI2N motor	920mm +4/-0mm
MI2N portador	840mm +4/-0mm

4.3.7.5.3 Metros de tipo MF88.

Para este tipo de material, el diámetro de las ruedas nuevas es de 860mm +4/-0mm

4.3.7.5.4 Metros de tipo FM86, FM95A, FE07.

Para este tipo de materiales, el perfil utilizado es el mismo que el perfil inicial de la línea 12.

4.3.7.6 Puntos difíciles / Riesgos

Sin objeto.

4.3.7.7 Plan de acciones

Sin objeto.

4.3.8 Hmax y Y/Q en dinámica

4.3.8.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
LISTA DE PARÁMETROS DINÁMICOS	M.E4.97.107
CÁLCULOS DINÁMICOS	C.F1.93.551
COMPORTAMIENTO DINÁMICOS SEGÚN UIC 518:2009	B56.06.251.01

4.3.8.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

Sin objeto.

4.3.8.3 Comparación la normalización en vigor

La ficha UIC 518 trata el comportamiento dinámico de los vehículos ferroviarios e impone el respeto de los criterios siguientes:

- $H_{max} < \alpha \left(10 + \frac{P_0}{3}\right)$
- $\frac{Y}{Q} < 0,8$

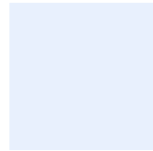
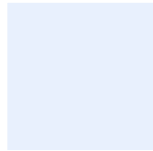
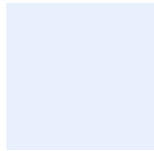
El Hmax es un criterio que permite calificar la agresividad del material sobre la vía. El Y/Q es un criterio que permite cuantificar el riesgo de descarrilamiento. Cabe señalar que estos valores se aplican normalmente a los perfiles UIC.

4.3.8.4 Ensayo de validación y resultados

CAF realizó una modelización numérica de los dos tipos de vehículos que componen los trenes FE 10. Los datos de entrada e hipótesis consideradas están conformes. Se precisa que los datos de entrada son conservadores, especialmente la conicidad de las ruedas en situación degradada así como las insuficiencias de peraltes considerados.

Las simulaciones realizadas no tienen en cuenta las condiciones de cargas intermedias descritas en el documento LISTA DE PARÁMETROS DINÁMICOS. Los ensayos con condiciones de carga W2 y W3 no han sido efectuados.

Los resultados presentados son coherentes.



Las pruebas dinámicas en el tren son conformes a las condiciones descritas en la ficha UIC 518 frente a las configuraciones a probar a excepción de las configuraciones de cambio W2 y W3 y las configuraciones de las ruedas usadas.

Considerando la falta de información sobre la calidad de la vía tal como se solicitó en la ficha UIC 518, SYSTRA no se puede pronunciar sobre la conformidad de los resultados de las pruebas dinámicas.

4.3.8.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.

4.3.8.6 Puntos difíciles / Riesgos

En espera de la reunión con la SNCF

4.3.8.7 Plan de acciones

En espera de la reunión con la SNCF

4.3.9 Y/Q casi estático

4.3.9.1 Documentos de entrada

Los documentos de entrada proporcionados a SYSTRA y analizados son:

DOCUMENTO	REFERENCIA
LISTA DE PARÁMETROS DINÁMICOS	M.E4.97.107
CÁLCULOS DINÁMICOS	C.F1.93.551

4.3.9.2 Comparación valor especificados y valor retenido por CAF

Sin objeto.

4.3.9.3 Comparación la normalización en vigor

La norma EN 14363 propone un enfoque cuasi-estático del comportamiento de los vehículos. Impone especialmente el respeto del valor $Y/Q < 1,2$ frente al riesgo de descarrilamiento.

4.3.9.4 Ensayo de validación y resultados

En base a los detalles complementarios requeridos, SYSTRA estima que los resultados de los cálculos presentados en el documento CÁLCULOS DINÁMICOS (ref. C.F1.93.551) están de conformidad con lo estimado.

4.3.9.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.

4.3.9.6 Puntos difíciles / Riesgos

En espera de la reunión con la SNCF

4.3.9.7 Plan de acciones

En espera de la reunión con la SNCF

4.4 Estudios de las funciones auxiliares en interfaz con el contacto rueda/riel

4.4.1 Función antibloqueo

4.4.1.1 Documentos de entrada

Los ejes motores y portadores del FE10 están equipados con un sistema anti-atasco. Los documentos siguientes especifican las funciones así como los desempeños esperados para estos sistemas:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONTRACTO N°:8.07.CO 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDf-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DESCRIPCIÓN BOGIE	M.E4.97.001
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-
ANTIDESLIZAMIENTO	C F1 92 332 00-A- PTV
Freno y Gen Aire	C F1 94 302-A-DT
PRESTACIONES_FRENO	C F1 92 302 00-B- PTYSV

4.4.1.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

La concepción y los desempeños de la función anti-encasquillamiento están de conformidad con las especificaciones técnicas y con la respuesta de CAF.

4.4.1.3 Comparación la normalización en vigor

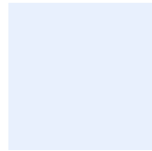
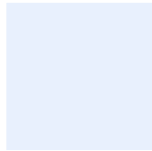
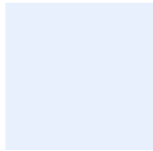
La concepción y los desempeños de los sistemas de frenado y anti-encasquillamiento están de conformidad con las referencias NF EN 15595+A1 y NF EN 13452-1.

4.4.1.4 Ensayo de validación y resultados

De los ensayos de salida de la fábrica descritos en el documento DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA se observa que han sido realizados y están conformes.

4.4.1.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.



4.4.1.6 Puntos difíciles / Riesgos

Sin objeto.

4.4.1.7 Plan de acciones

Sin objeto.

4.4.2 Función anti-patinaje

4.4.2.1 Documentos de entrada

Los ejes motores y portadores del FE10 están equipados del sistema anti-atasco y anti-patinaje. Los documentos siguientes especifican las funciones así como los desempeños esperados por estos sistemas:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONTRACTO N°:8.07.C0 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDf-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DESCRIPCIÓN BOGIE	M.E4.97.001
Descripción Técnica Tracción	C F1 94 301 00-B
Anexo HCN-L6365-11(SlipSlide_car)	C F1 94 301 00-B
Prestaciones Tracción.pdf	C F1 92 301 00-A
03 ANEXO registros aceleración reducida	
01 MELCO resultados pruebas vía	

4.4.2.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

La concepción y los desempeños de la función anti-deslizamiento están de conformidad con las especificaciones técnicas y con la respuesta de CAF.

4.4.2.3 Comparación la normalización en vigor

Sin objeto.

4.4.2.4 Ensayos de validación y resultados

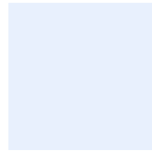
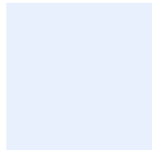
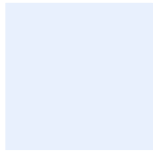
Los ensayos de tracción están de conformidad con NF EN 50215.

4.4.2.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.

4.4.2.6 Puntos difíciles / Riesgos

Sin objeto.



4.4.2.7 Plan de acciones

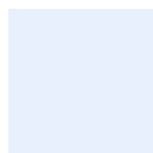
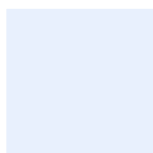
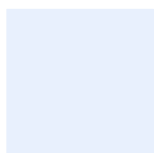
Sin objeto.

4.4.3 Función lubricación

4.4.3.1 Documentos de entrada

Los bogies portadores extremos del FE10 están equipados de un sistema de lubricación de pestaña. Los documentos siguientes especifican las funciones así como los desempeños esperados por estos sistemas:

DOCUMENTO	REFERENCIA
CONTRACTO N°:8.07.C0 01.T.2.022 Y CONVENIOS MODIFICATORIOS	PMDF-10-IEE.OP-612000-III-0246-01307-D-07
DESCRIPCIÓN BOGIE	M.E4.97.001
CONJUNTO BOGIE REMOLQUE E1	M.E4.00.501
CONJUNTO BOGIE REMOLQUE E1	M.E4.00.503
CÁLCULO CONICIDAD EQUIVALENTE	C.F1.93.552
DOSSIER DE SALIDA DE FACTORÍA	-
66804K045_M1_0	
ATA16A130242B_SCHEME	
BPK01A030001090000_0	
2008-09-02_RST03A020500X04	
ENGRASE DE PESTAÑA	C F1 92 257-A-PTYSF
DT ENGRASE DE PESTAÑA	C F1 94 328 00
MANUAL METRO MEXICO	832483
ENGRASE DE PESTAÑA.PDF	01_C.F1.92.257
X.81.00091.DXF	
C.C9.04.102	



4.4.3.2 Comparación valor especificado y valor retenido por CAF

El sistema de lubricación definida en las especificaciones técnicas es de tipo “stick”. La respuesta de CAF está de conformidad con este requerimiento.

El sistema instalado en la FE10 no es un sistema de tipo “stick”, sino de eyección de lubricante, por lo tanto, genera una falta de conformidad respecto a las especificaciones técnicas y los requerimientos de CAF. Sin embargo, SYSTRA nota que los sistemas de lubricación de tipo “stick” aportan resultados menos adecuados que los sistemas de lubricación por eyección, y las evoluciones realizadas por CAF son acordes con la optimización de los desempeños de engrasado.

4.4.3.3 Estudios detallados del sistema de lubricación.

La norma europea de referencia para el manejo de fricciones rueda/riel es la NF EN 15427+A1 (véanse Anexo 8.2). SYSTRA se basará en esta referencia y en su experiencia para el estudio siguiente.

4.4.3.3.1 Relación de generalidades emitidas en la NF EN 15427+A1

Extracto de la norma:

« 4.1.1 El equipo embarcado debe aplicar el lubricante de manera que actúe sobre la interfaz activa como se describe en el párrafo 4.5. Generalmente se utiliza para aplicar lubricantes sobre la rueda. La mejor utilización de lubricantes se obtiene instalando el equipo de lubricación sobre ejes cercanos al frente del tren, de manera que se asegura la lubricación de todas las interfaces siguiente y activas de rueda/riel. La instalación óptima de este equipo es en el primer eje; sin embargo, esto puede ser imposible por falta de espacio.

La instalación y el sistema de lubricación deben ser definidos y ser objeto de un acuerdo con el cliente.

NOTA: Otros ejes pueden portar un equipo integrado, de ser necesario.

4.1.2 El equipo instalado debe estar concebido para optimizar la lubricación de la interfaz activa y limitar la contaminación de otras partes del tren o de la infraestructura. Conviene evitar la lubricación excesiva para evitar riesgos de incendio.

4.4.3.3.2 Relación de los principios de concepción

Extracto de la norma:

« 4.3 Concepción del equipo de instalado

4.3.1 Cada unidad de aplicación de lubricante debe estar colocada y alineada teniendo en cuenta los desfases de la suspensión, para garantizar la aplicación del lubricante a la interfaz activa (ver 4.5)...

De la misma manera, el sistema de lubricación debe permitir la aplicación de lubricante en las zonas “L” y/o “M” de la rueda sea cual sea el posicionamiento del eje respecto al chasis de bogie y, por lo tanto, del desfase de las suspensiones.

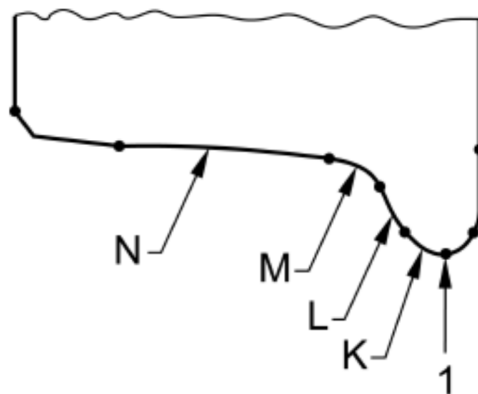
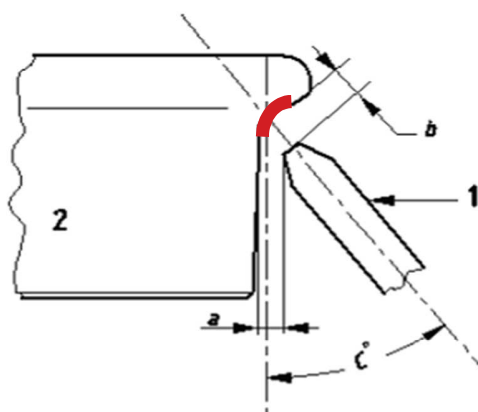


Figura 10. Zonas de una superficie de rodamiento

→ En este punto, SYSTRA precisa que las fuerzas relacionadas con la rotación de la rueda tendrán tendencia a hacer fluir el lubricante de la zona M hacia la parte alta de la pestaña (zona K). SYSTRA aconseja, por lo tanto, localizar la eyección de lubricante en la zona M.



Key

- 1 Lubricant Application Unit
- 2 wheel
- a, b, c. dimensions to be agreed between the relevant parties

NOTE 'a' and 'b' will be influenced by longitudinal and lateral suspension movements.

Figure C. 2 — Alignment of Lubricant Application Unit onto the wheel flange

Figura 11. Alineación de la unidad de aplicación de lubricante sobre la pestaña de la rueda

El contacto entre la rueda y el riel asegura la transferencia del lubricante a las zonas A y/o B del riel, a la zona C debe estar exenta de lubricación.

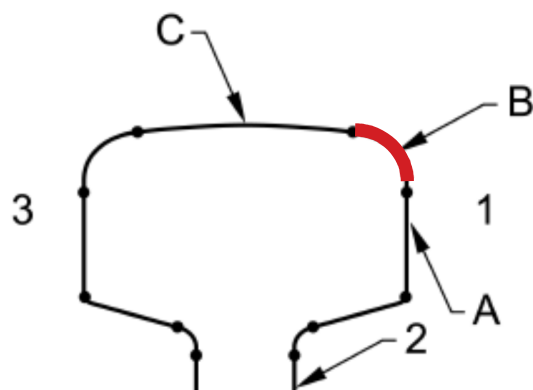


Figura 12. Zonas de una superficie de rodamiento

4.4.3.3.3 Comparación con la concepción del sistema de lubricación de FE10

El sistema de eyección de lubricante se constituye de conductos fijos al frente de cada rueda de cada eje de los extremos. Este sistema está fijado al chasis del bogie.

Observación n°1: Punto de lubricación

El montaje recomendado por el proveedor del sistema es el siguiente:

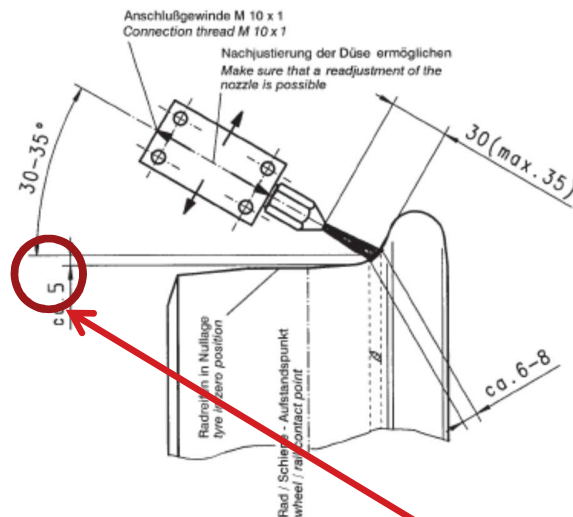
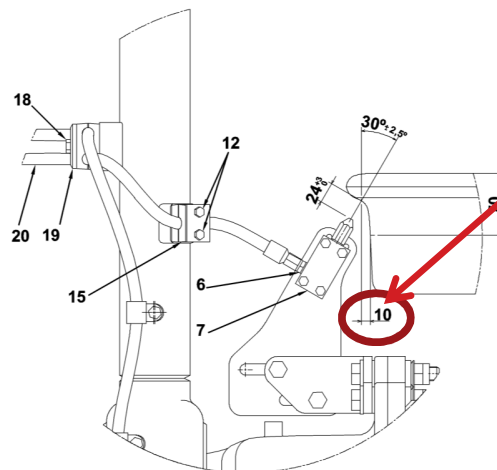


Figura 13. Preconización del proveedor para la fijación del sistema de lubricación.

El montaje realizado sobre la FE10 es el siguiente:



El montaje realizado por CAF recorre el punto de inyección hacia la parte superior de la pestaña.

Figura 14. Montaje del sistema de lubricación realizado por CAF.

De la misma manera, tras observar el dispositivo en funcionamiento sobre el FE10, el resultado es el siguiente:

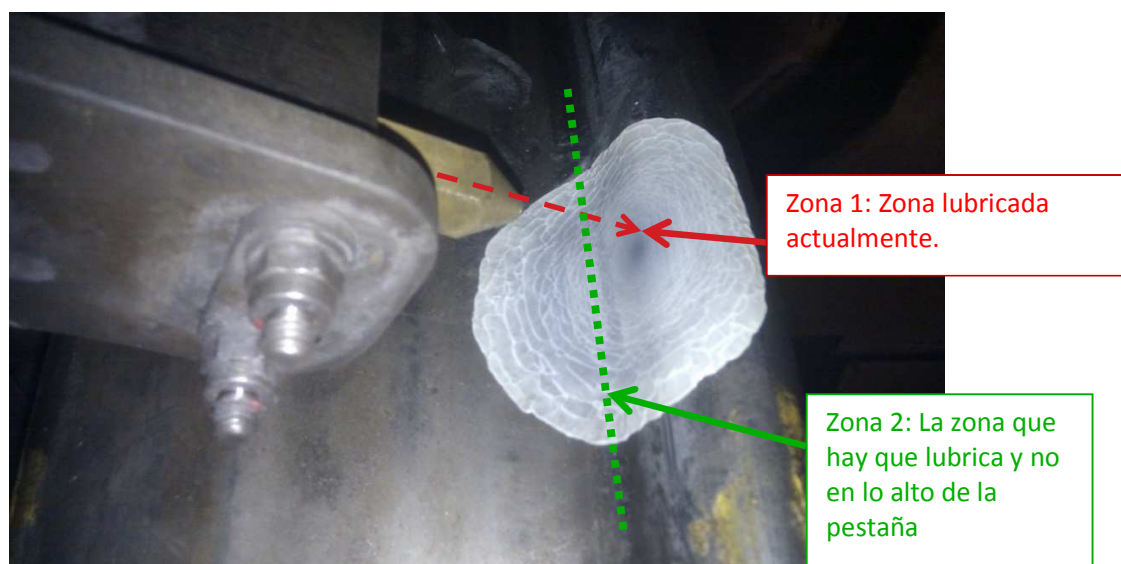


Figura 15. Punto de eyección del lubricante

- ➔ En este punto, aunque el reglaje/montaje del sistema de lubricación fue realizado por CAF según las preconizaciones de la norma, SYSTRA hace notar que, en base a su experiencia y para asegurar una lubricación óptima, lo mejor sería alinear el punto de eyección al pie de la pestaña (Zona 2) de la manera preconizada por el proveedor.

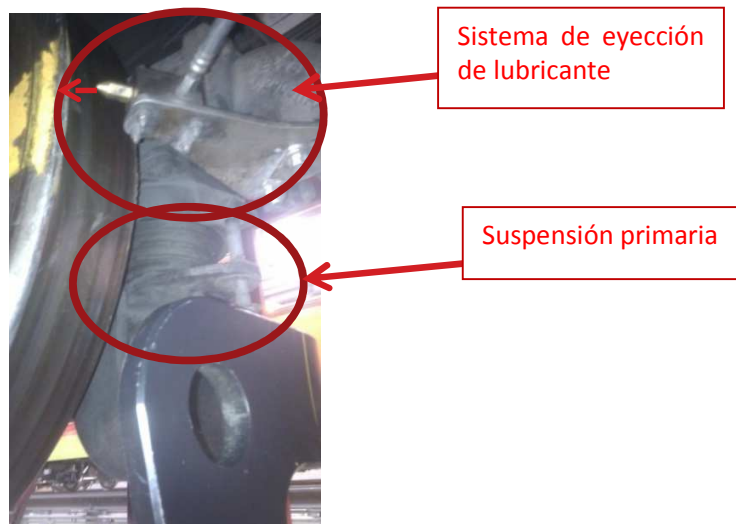
Observación n°2: Alineamiento del sistema de lubricación

Figura 16. Ubicación del sistema de lubricación del FE!0

→ En este punto, SYSTRA recuerda que el sistema de eyección se instala sobre el chasis del bogie y que, debido al empuje de los bogies (2500mm) y a la flexibilidad de las suspensiones primarias, puede aparecer un ángulo “alfa” (notablemente en las curvas de radios pequeños) y, por lo tanto, también se puede presentar un desplazamiento del punto de inyección del lubricante en la rueda.

Las consecuencias de dicho pueden ser la contaminación de la tabla de rodadura.

- En las curvas de 200m, que se sitúan en su mayoría sobre el viaducto, SYSTRA no ha podido verificar el estado de contaminación de las ruedas de los trenes que circulan regularmente sobre esta parte de la línea. Este punto será, por lo tanto, consolidado por medio de un análisis detallado.

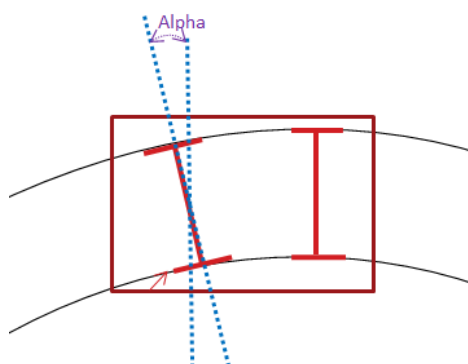
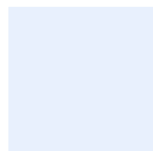
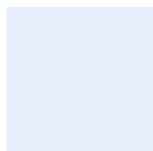
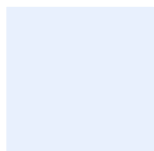


Figura 17. Desequilibrio posible en las curvas de radios pequeños



4.4.3.3.4 Utilización del sistema de lubricación.

Nota importante:

No hace falta considerar que un tren lubrique la vía para su propia circulación.

→ La lubricación de una línea ferroviaria es un sistema en conjunto; en este sentido, es necesario comprender que cada tren participa en la lubricación del sistema de su conjunto. Esta es una garantía de que la pestaña no se desgatará y, por lo tanto, de la longevidad de la rueda y del riel.

El engrasado correcto con aceite “calificado” debe dejar una huella grasa en el pie de la pestaña así como al nivel de la curvatura del riel.

Nota: No hace falta eliminar esta huella grasa en las ruedas con alguna tela o cualquier otro medio de limpieza.

→ **El engrasado correcto de la pestaña es un equilibrio que no se encuentra instantáneamente, pero que es necesario mantener una vez que se ha encontrado.**

4.4.3.3.4.1 Cantidades y tiempos de eyección

A la fecha del análisis:

- Los tiempos de eyección son de 4s
- Los tiempos de recarga entre cada eyección son de 2.5s
- La cantidad de lubricante aplicada por eyección es de 50mm³
- La presión de eyección es de 9 bares

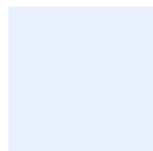
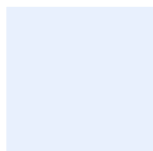
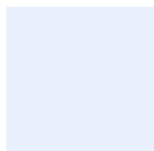
4.4.3.3.4.2 Evolución del funcionamiento del sistema de lubricación

El sistema de lubricación se basa en un girómetro fijado sobre la caja que detecta la inclinación de ésta.

La información transmitida ha permitido a SYSTRA establecer el siguiente historial.

En el momento de la puesta en servicio del FE10, la lubricación fue efectiva bajo las condiciones siguientes:

- Detección de una inclinación superior a los 1.8°
- Velocidad superior a los 15km/h



Problemática 1: En base a las problemáticas de “Bamboleo”, el sistema libera lubricante de forma no controlada en líneas rectas y en estaciones.

Modificación funcional 1 (Agosto 2013): El sistema de lubricación está vinculado con la señalación secundaria para restringir la lubricación, excepto en los tramos que tienen curvas. Además, se modificaron las condiciones de los ángulos.

Las condiciones de lubricación son las siguientes:

- Detección de una inclinación de entre 1.5° y 2°
- Velocidad superior a los 15km/h
- Tren dentro de un tramo en curva (s)

Problemática 2: Este sistema no permite detectar las curvas sin peralte. Por lo tanto, éstas no fueron lubricadas. Esto se refiere específicamente a las curvas 1 y 2 que tienen radios de aproximadamente 110 y 112 m respectivamente. Los tiempos de respuesta fueron muy largos.

Modificación funcional 2 (Octubre 30, 2013): el sistema de lubricación está vinculado al CBTS para autorizar de manera precisa la liberación de los lubricantes, comprendiendo las curvas sin peralte y los aparatos de vía.

Las condiciones de lubricación son las siguientes:

- Detección de una inclinación de entre 0° y 1.5°
- Velocidad superior a los 15km/h
- Tren dentro de un tramo a lubricar (tren entre Pkj y Pkf)

→Este sistema permite definir precisamente y con anticipación las zonas a lubricar.

4.4.3.3.4.3 Diagnóstico de las zonas de lubricación.

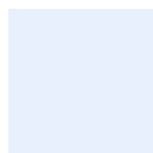
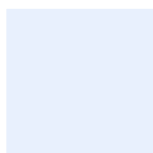
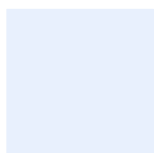
El análisis de las zonas lubricadas se llevó a cabo en base a las últimas modificaciones y a los datos guardados en el registro de los trenes.

Hasta hora, SYSTRA subraya que el engrasado es realizado en las curvas y aparatos de vía.

4.4.3.4 Ensayo de validación y resultados

Los ensayos de validación en salida de fábrica han sido realizados. Observamos que no se realizó el reglaje necesario de este dispositivo sobre la línea con el fin de tomar en cuenta las inclinaciones de caja sobre la vía en condiciones dinámicas.

SYSTRA no identificó posibles ensayos en línea que permitan garantizar el adecuado funcionamiento de lubricación de pestaña.



4.4.3.5 Valores utilizados sobre los materiales similares

Sin objeto.

4.4.3.6 Puntos difíciles / Riesgos

SYSTRA estima que los riesgos siguientes en cuanto al sistema de lubricación:

Riesgo: El punto de inyección del lubricante está muy alto sobre la pestaña, lo que conlleva un riesgo en la zona de lubricación.

Riesgo: Los movimientos de los ejes conectados a las suspensiones primarias pueden tener un desfase del punto de inyección, lo que conlleva un riesgo de desplazamiento de la zona de lubricación en las curvas de radios pequeños.

Riesgo: La periodicidad de 2.5s parece excesiva.

4.4.3.7 Plan de acciones

SYSTRA solicita el suministro de:

- Una simulación del impacto de los ángulos del bogie/ejes.

SYSTRA propone:

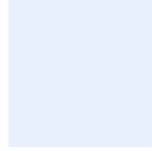
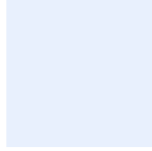
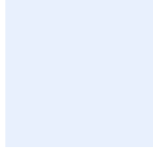
- La modificación del sistema de fijación si la simulación requerida anteriormente revela un desplazamiento muy grande en la zona de lubricación.
- La modificación de los ajustes del sistema de lubricación para asegurar la lubricación al nivel del pie de la pestaña.

Observación: Los conductos de eyección son más verticales que los de la SNCF, lo que es favorable para colocar el aceite en un buen lugar y que se distribuya en seguida por la pestaña gracias a la fuerza centrífuga. Un sistema como este obtiene, de la misma manera, resultados positivos en función de la velocidad del tren.



Foto 41. Ejemplo del sistema de eyección de lubricante de la SNCF

- La realización de pruebas para asegurar que el engrasante no puede lubricar el pie de la pestaña, especialmente en las curvas.
- Engrasamiento de las curvas y líneas rectas con periodicidades a determinar (en curvas y líneas rectas).
- Tener una periodicidad de eyección de aceite en función del trazado de la línea (eyección más frecuente en curvas que en líneas rectas)
- La implementación de un doble seguimiento: riel y material (ruedas, engrasantes, aceite,...).
 - Al nivel del riel, la prescripción de la norma EN 15427 es aplicable (adhesivo en cinta). Se puede apreciar manualmente el engrasado. La presencia de limaduras en los durmientes al pie del riel es un criterio importante de un mal funcionamiento de la lubricación y del conjunto rueda/riel.
 - A nivel de materiales:
 - Verificación de la posición correcta de los engrasantes de pestaña con la ayuda de un gálbo.
 - Seguimiento del consumo de aceite
 - Apreciación de la calidad del engrasado pasando un dedo al nivel del pie de la pestaña
 - Limpieza regular de los conductos de eyección
 - Verificación de la presión de eyección
 - Verificación de la posición correcta de los areneros (si los hay).



- Seguimiento dimensional de los ejes con Qr, así como de las distancias y alturas de la pestaña y la explotación de los resultados.
- Determinación de las cotas de re-perfilamiento

5. OBRAS CIVILES EN EL TRAMO ELEVADO

5.1 Análisis de las obras existentes

5.1.1 Descripción

En la línea 12 del Metro de México, la estructura del tramo elevado se compone por la superestructura y la subestructura. La superestructura se compone de las traveses principales que soportan al sistema de los tableros para las vías, y la subestructura comprende desde los cabezales de apoyo hasta la cimentación.

Por las traveses se pueden clasificar dos tipos de estructuraciones en función del material utilizado para la construcción:

- la estructuración a base de traveses de estructuras metálicas cuya longitud es de 6.72 km,
- y la estructuración con traveses prefabricados de concreto reforzado, cuya longitud es de 4.54 km.

Para los tramos elevados metálicos hay dos tipos de traveses:

- la trabe compuesta de 2 vigas de acero y una sola de concreto,
- y el tramo estructurado con dos traveses paralelas compuestas.

A lo largo de las estructuras metálicas se encuentran dos tipos de subestructuras, una a base de elementos de concreto reforzado post-tensado en columnas o cabezales, y la otra a base de elementos metálicos columnas y capiteles.



Foto 42. Trabe compuesta con columna en hormigón



Foto 43. Traveses compuestas paralelas con columna en acero

Los tramos elevados prefabricados tienen unas traveses de concreto en doble U (W), los tramos son de 30 m en línea recta y 25 m en curva, y una trabe especial de concreto en U reforzado con un cajón, el tramo es de 25 m en la sección de vías.



Foto 44. Traveses de hormigón en doble U con columna en hormigón

Foto 45. Trabe de concreto en U con cajón y columna en hormigón

5.1.2 Documentación recibida

Recibimos los documentos siguientes:

Viaducto_2.100 y Viaducto_3.1001 ; viga compuesta y viga en W - tramos 30m	Memoria de cálculo con valores del propio peso, carga muerta, y carga viva
Viaducto_4 ; 2 vigas paralelas compuestas de acero y concreto - tramos 22 y 25m	Memoria de cálculo con valores del propio peso, carga muerta, y carga viva
Viaducto_5 ; 2 vigas paralelas compuestas de acero y concreto - tramos 22 y 25m	Planos
Viaducto_6/ 9 /12 ; viga en W - tramos 25 y 30m y trabe en estaciones	Planos "As built"
Viaducto_7 ; viga en W - tramos comprendidos entre 30 y 35m	Memoria de cálculo
Viaducto_8 ; viga en W - tramos comprendidos entre 30 y 35m	Planos
Viaducto_10 ; viga de concreto en U con un cajón - tramos comprendidos entre 23 y 25 m	Memoria de cálculo
Viaducto_11 ; viga de concreto en U con un cajón - tramos comprendidos entre 23 y 25 m	Planos
Viaducto_14; durmientes en concreto pretensado – diferentes tipos	Planos
Viaducto_15; durmientes en concreto pretensado – diferentes tipos	Planos
Viaducto_5.103; presentación de durmientes L-12	Presentación Powerpoint
DDOC - SIP ; manual de mantenimiento ; viga compuesta ; 2 vigas compuestas ; viga en W	Documentación + Planos
Boletín; Memoria de cálculo durmiente de concreto monobloque pretensado	

5.2 Evaluación por el cálculo del coeficiente de ampliación dinámico de las diferentes obras

El objetivo de este capítulo es evaluar las obras de la línea 12 del metro de México, particularmente en relación con el efecto dinámico representado por el coeficiente de ampliación dinámico de los viaductos, una simulación dinámica ha sido realizada para verificar el comportamiento bajo el paso de los trenes.

Dos tipos de tren son aplicados para el análisis dinámico, el tren normal y el tren de mantenimiento. El tren normal es tomado en consideración con una velocidad de 90 km/h en línea recta y comprendida entre 60 y 70 km/h en curva según el rayo de curvatura; y el tren de mantenimiento es tomado en consideración con una velocidad de 50 km/h.

El tren normal está constituido de 7 carros con una carga al eje de 15 tones. El tren de mantenimiento está constituido de 1 carro, la carga de los ejes interiores es 17.3 tones y la carga de los cuatro ejes exteriores es 20 tones.

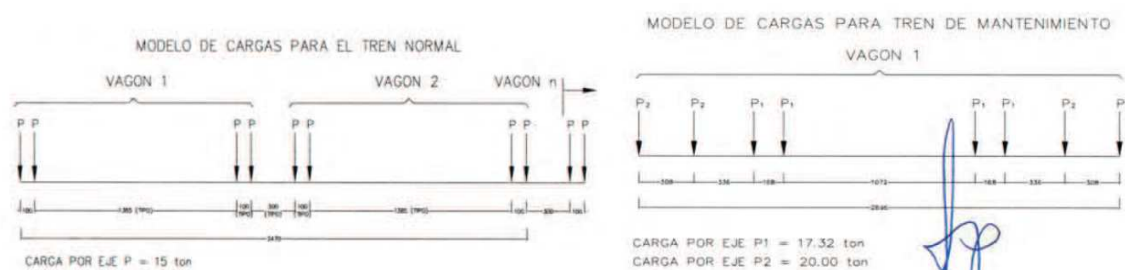


Figura 18. Cargas vivas (Tren normal y tren de mantenimiento)

Estudiamos los cuatro tipos de obras descritos en el párrafo 5.1.1 más arriba.

5.2.1 Trabe de concreto con columna en concreto

El objetivo consiste en evaluar el comportamiento dinámico de las trabe de concreto en W, y muy especialmente el coeficiente de ampliación dinámica, un análisis dinámico ha sido realizado con software Midas Civil 2012 sobre los tramos de 30 m y de 25 m, respectivamente en línea recta y en curva.

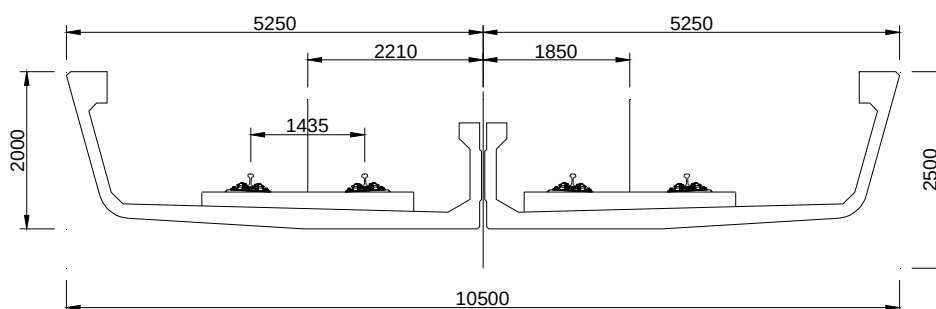


Figura 19. Sección de trabe de concreto con columna en concreto

- Concreto: $f'_c = 600 \text{ kgf/cm}^2$ $E_s = 3.18206 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ $w = 2.5 \text{ ton/m}^3$
- Peso propio: $w = 8.48 \text{ ton/m}$ Carga muerta: $w = 11.31 \text{ ton/m}$

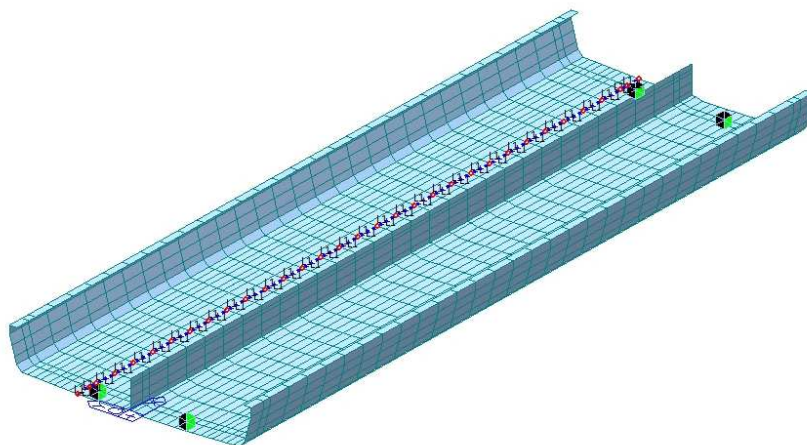


Figura 20. Modelo de cálculo: L 30 m en línea recta

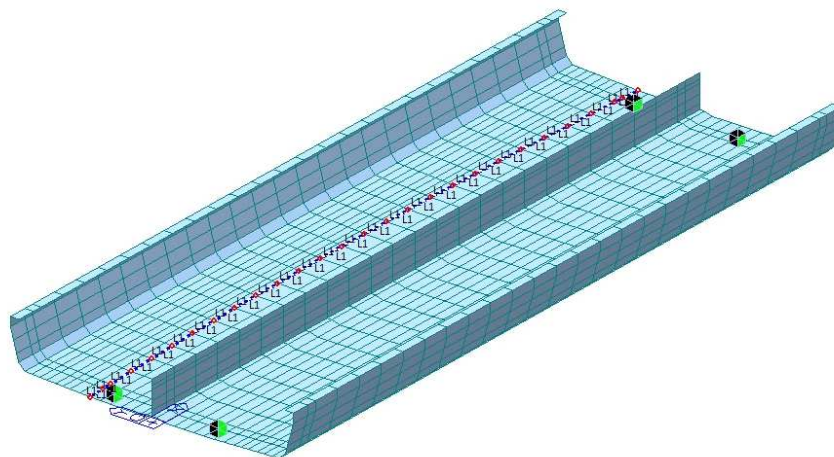


Figura 21. Modelo de cálculo: L 25m en curva con radio $R = 200$ m

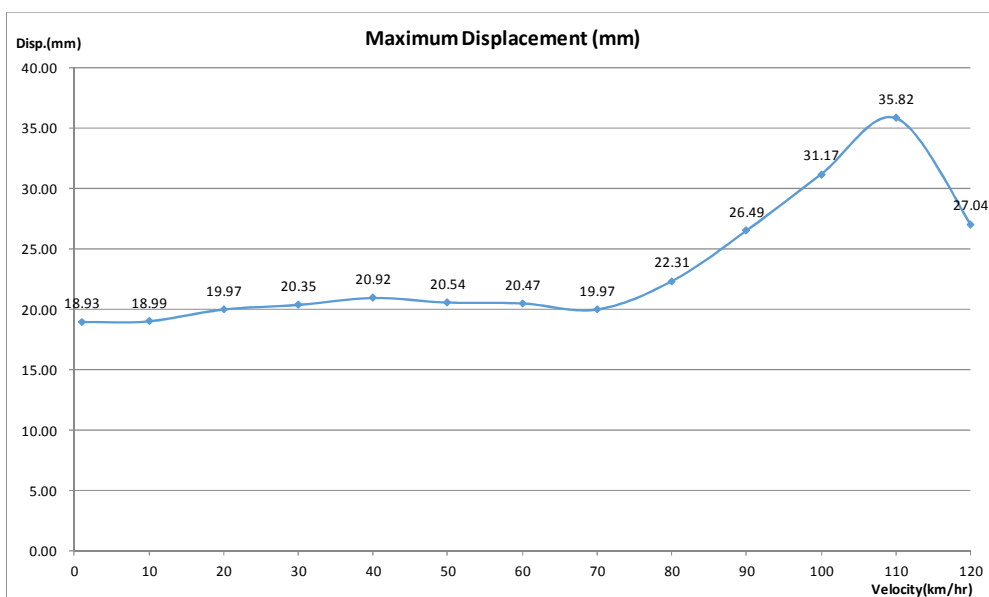
● Condiciones límites:

SUPPORT NO.	Translation			Rotation		
	X	Y	Z	X	Y	Z
L,R _{Begin}	1	1	1	0	0	0
L,R _{End}	0	1	1	0	0	0

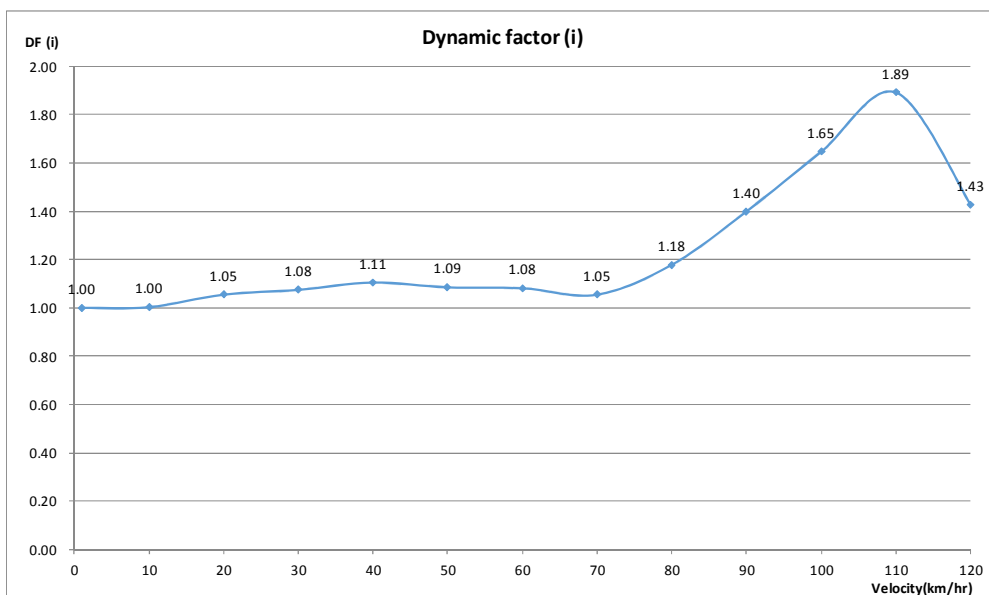
Los principales resultados son los siguientes.

- Tren normal en línea recta:

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO RESPECTO A LA VELOCIDAD

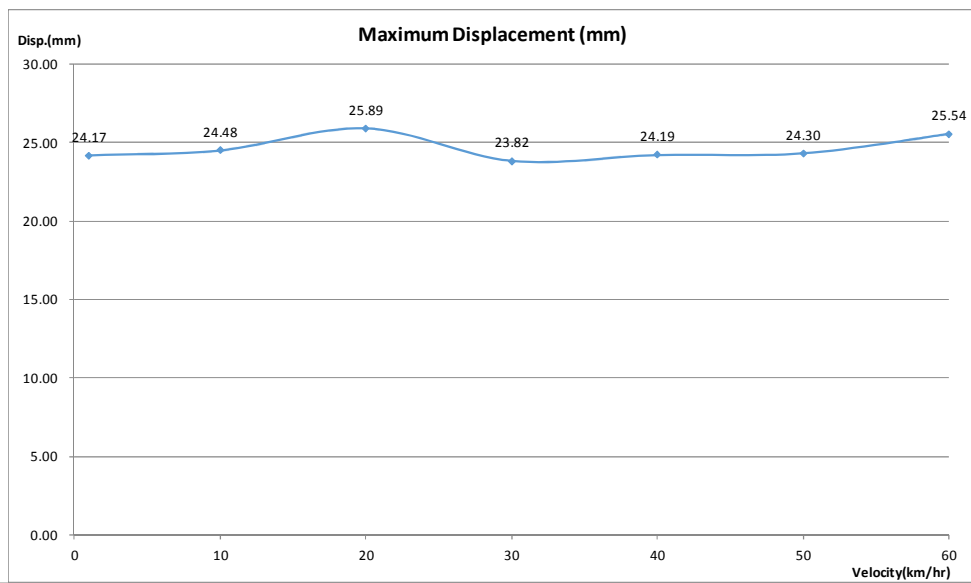


COEFICIENTE DINÁMICO RESPECTO A LA VELOCIDAD

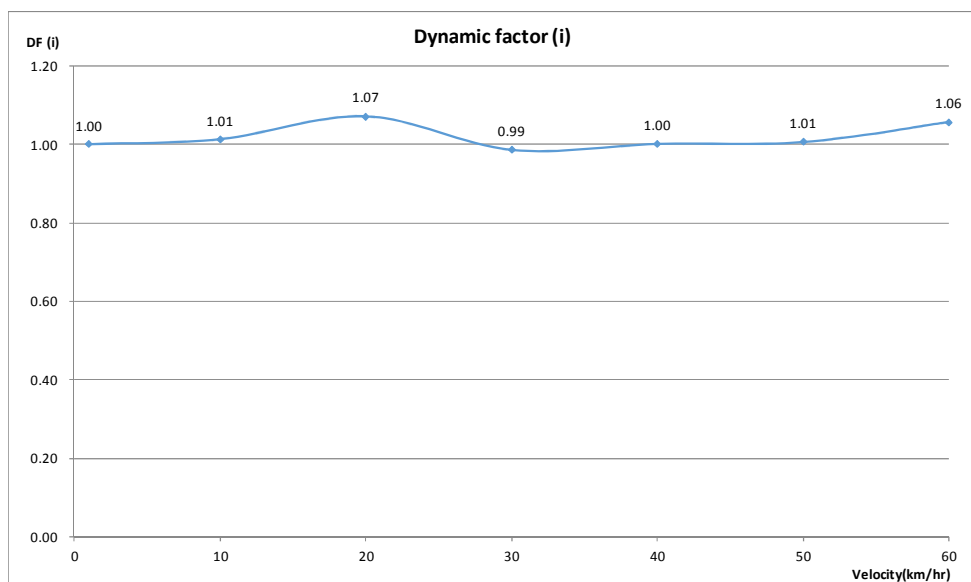


- Tren de mantenimiento en línea recta:

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO RESPECTO A LA VELOCIDAD

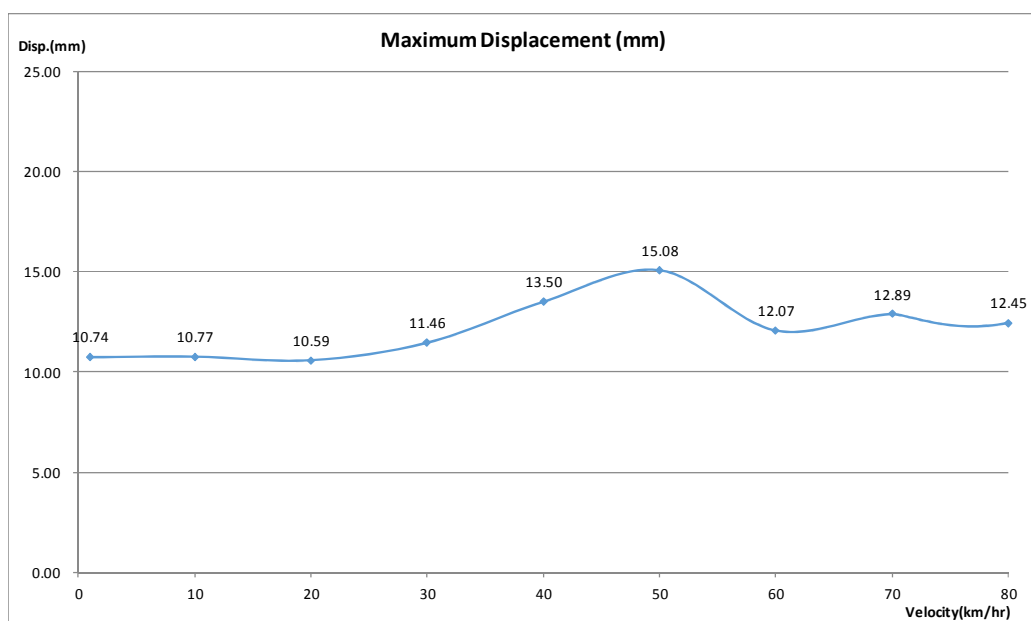


COEFICIENTE DINÁMICO RESPECTO A LA VELOCIDAD

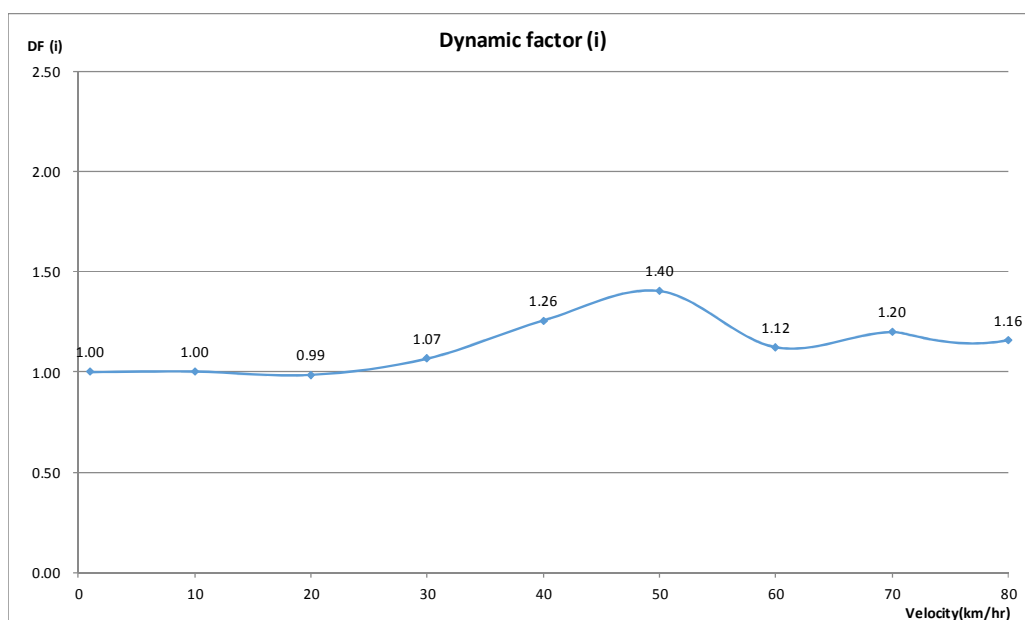


- Tren normal en curva (R = 200 m):

DESPLAZAMIENTO MÁXIMO RESPECTO A LA VELOCIDAD

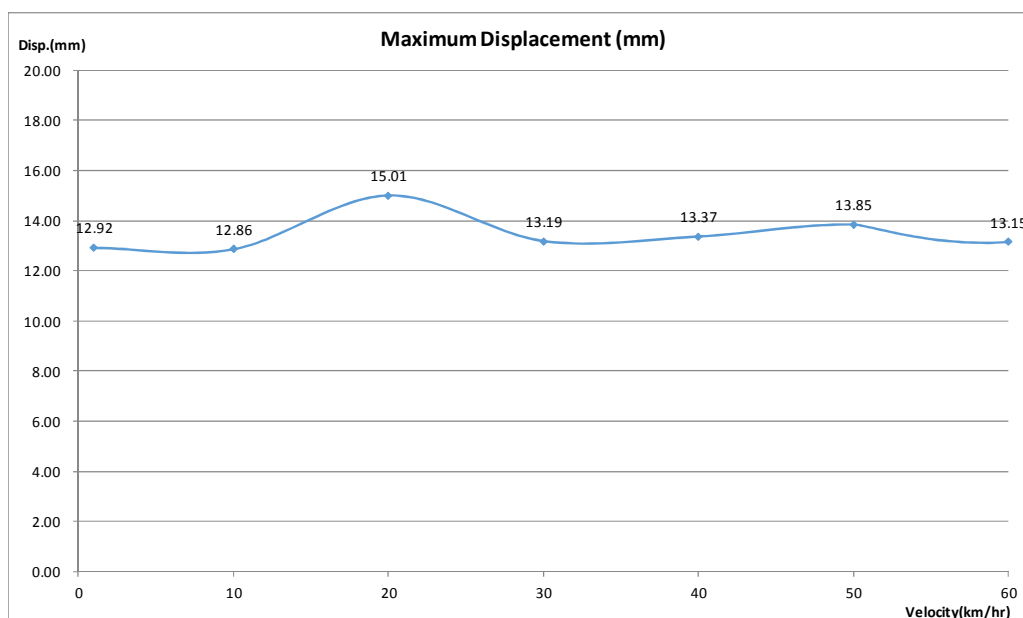


COEFICIENTE DINÁMICO RESPECTO A LA VELOCIDAD

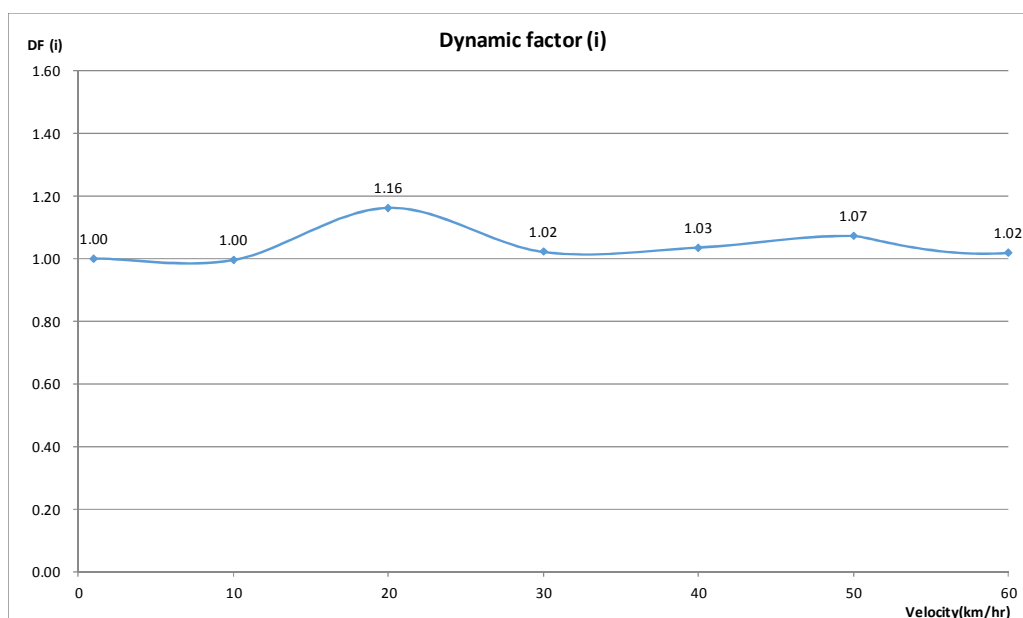


- Tren de mantenimiento en curva (R = 200 m):

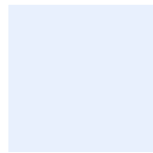
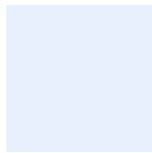
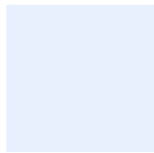
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO RESPECTO A LA VELOCIDAD



COEFICIENTE DINÁMICO RESPECTO A LA VELOCIDAD



Con radios de curvatura más grandes los resultados son similares.
El examen de los resultados es dado a continuación:



- Para el tren de mantenimiento el coeficiente dinámico es inferior que para el tren normal, aproximadamente 1.01 en línea recta y 1.07 en curva.
- Para el tren normal en línea recta ($L=30\text{m}$) el coeficiente dinámico respecto a la velocidad es 1.18 para una velocidad de 80 km/h y de 1.40 para una velocidad de 90 km/h. Como ya se ha comprobado el coeficiente aumenta sensiblemente para una velocidad superior a 90 km/h, tratándose de la velocidad de explotación que no debe ser sobrepasada.
- Para una velocidad de 90 km/h, el valor de 1.40 es superior al valor global de cálculo de valor 1.3, correspondiendo a un aumento del coeficiente de 8 %.
- Para el tren normal en curva ($L=25\text{m}$) el coeficiente dinámico respecto a la velocidad es 1.26 para una velocidad de 40 km/h y de 1.12 para una velocidad de 60 km/h. Estos valores son inferiores al valor global de cálculo de valor 1.30.

En conclusión el comportamiento de las obras de concreto en W es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes. No obstante, la velocidad de los trenes deberá ser limitada a la velocidad de operación, o 90 km/h, para evitar el desarrollo de las vibraciones.

5.2.2 Trabe compuesta con 2 vías

El objetivo consiste en evaluar el comportamiento dinámico de las traveses compuestas con dos vías, y muy especialmente el coeficiente de ampliación dinámica, un análisis dinámico ha sido realizado con software CEDYPIA sobre los tramos de 30 m y de 25 m, respectivamente en línea recta y en curva.

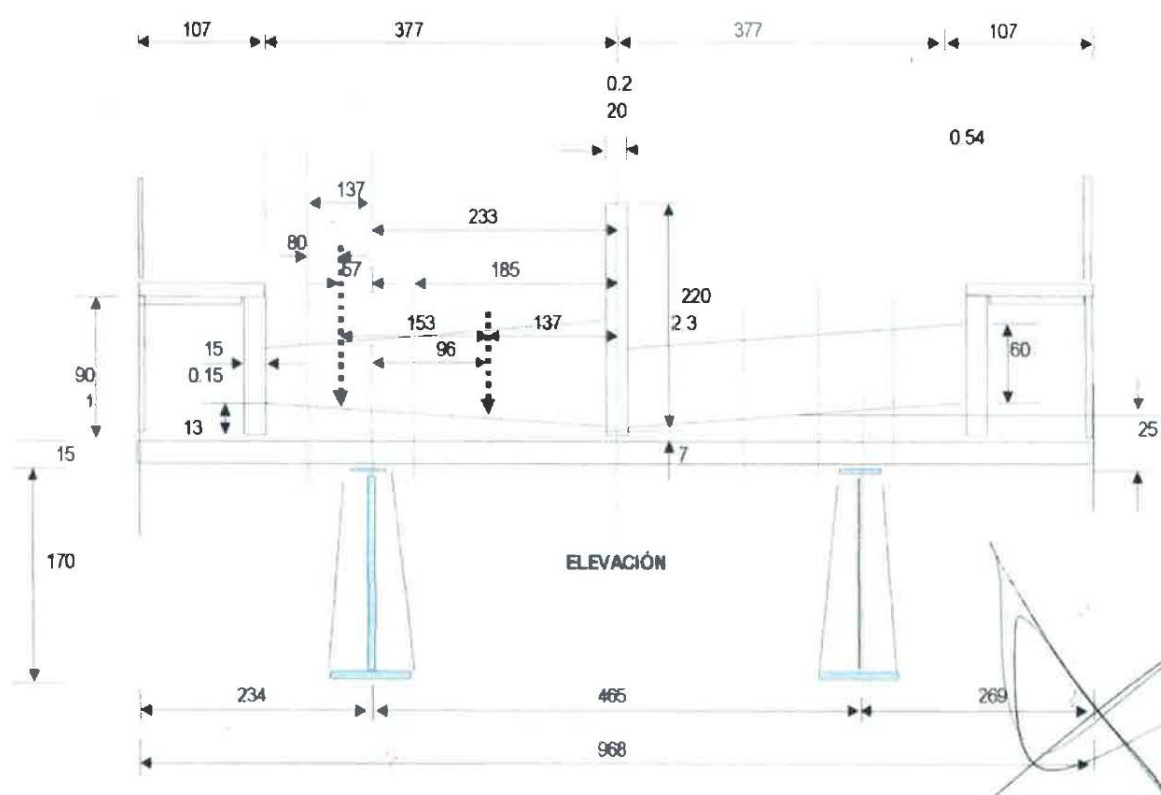


Figura 22. Sección tipo en línea recta de trabe compuesta con 2 vías

- Peso propio en línea recta: $w = 7.01 \text{ ton/m}$ Carga muerta: $w = 11.25 \text{ ton/m}$

Para Cedypia		
E (módulo de elasticidad de lo acero)=	210000	[MN/m ²]
Iy Sección homogeneizada acero=	0.0751	[m ⁴]
L tramo=	30	[m]
Excentricidad Carga Viva=	0.19	[m]
Amortización=	0.5	
Inercia polar de las masas=	304.9151	[Kgm]
Peso propio+carga Muerta =	9130.752	[kg/m]

Tabla 17. Hipótesis de cálculo: L 30 m en línea recta

- Peso propio en curva: $w = 6.97 \text{ ton/m}$ Carga muerta: $w = 11.25 \text{ ton/m}$

Para Cedypia		
E (módulo de elasticidad de lo acero)=	210000	[MN/m ²]
Iy Sección homogeneizada acero=	0.0501	[m ⁴]
L tramo=	25	[m]
Excentricidad Carga Viva=	0.19	[m]
Amortización=	0.56	
Inercia polar de las masas=	239	[Kgm]
Peso propio+carga Muerta =	9113	[kg/m]

Tabla 18. Hipótesis de cálculo: L 25m en curva

- Condiciones límites:

N1:

$u1x = u1y = u1z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi1x = \phi1z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

N2:

$u2x = u2y = u2z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi2x = \phi2z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

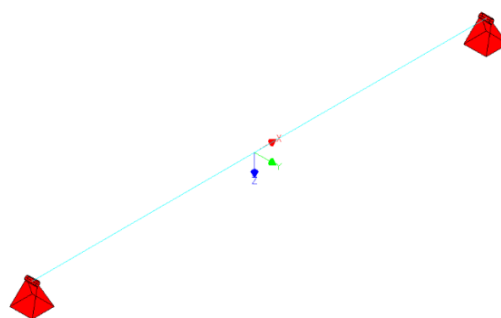


Figura 23. Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones

Los principales resultados son los siguientes.

- Tren normal en línea recta:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 90 KM/H		
My dinamico (tren normal)=	3884	[KNm]
My statico (tren normal)=	3911	[KNm]
ϕ =	1	

- Tren de mantenimiento en línea recta:

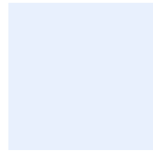
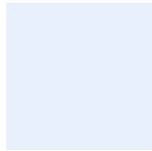
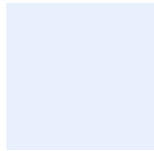
COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 50 KM/H		
My dinamico (tren de mantenimiento)=	4853	[KNm]
My statico (tren de mantenimiento)=	4778	[KNm]
ϕ =	1	

- Tren normal en curva:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 60 KM/H		
My dinamico (tren normal)=	4178	[KNm]
My statico (tren normal)=	3162	[KNm]
ϕ =	1.32	

- Tren de mantenimiento en curva:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 50 KM/H		
My dinamico (tren de mantenimiento)=	3708	[KNm]
My statico (tren de mantenimiento)=	3639	[KNm]
ϕ =	1.0	



El examen de los resultados es dado a continuación:

- Para el tren de mantenimiento el coeficiente dinámico es igual a 1.0 en línea recta y en curva.
- Para el tren normal en línea recta (L=30m) coeficiente dinámico es 1.00 para una velocidad de 90 km/h.
- Para el tren normal en curva (L=25m) coeficiente dinámico es 1.32 para una velocidad de 60 km/h. Este valor es equivalente al valor de cálculo 1.30.

En conclusión el comportamiento de las obras compuestas de dos vías es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes.

5.2.3 Trabes compuestas (dos paralelas) con una vía

El objetivo consiste en evaluar el comportamiento dinámico de las trabes compuestas de una vía, y muy especialmente el coeficiente de ampliación dinámico, un análisis dinámico ha sido realizado con software CEDYPIA sobre los tramos de 25 m en curva.

- Sección tipo en curva:

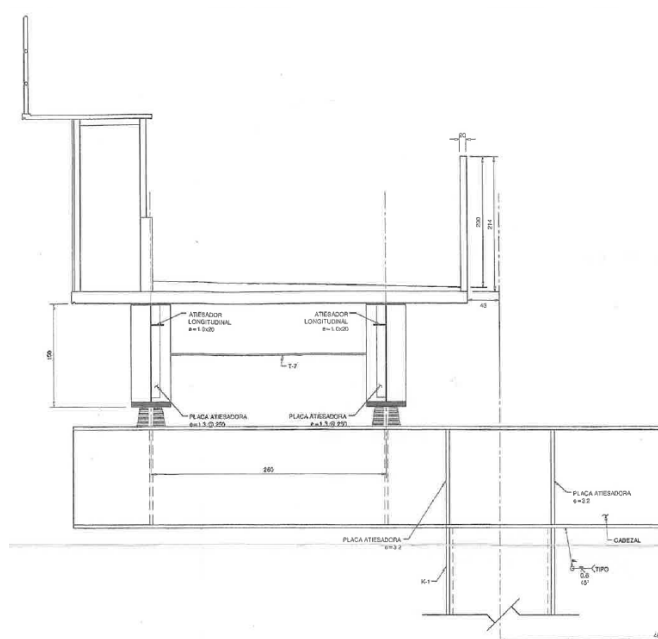


Figura 24. Sección tipo en curva de trabes compuestas (dos paralelas) con una vía

- Peso propio en curva: $w = 3.61 \text{ ton/m}$ Carga muerta: $w = 5.63 \text{ ton/m}$

Para Cedypia	
E (módulo de elasticidad de lo acero)=	210000 [MN/m ²]
Iy Sección homogeneizada acero=	0.0501 [m ⁴]
L tramo=	25 [m]
Excentricidad Carga Viva=	0.61 [m]
Amortización=	0.56
Inercia polar de las masas=	261.3779 [Kgm]
Peso propio+carga Muerta =	7432.132 [kg/m]

Tabla 19. Hipótesis de cálculo: L 25m en curva

- Condiciones límites:

N1:

$u1x = u1y = u1z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi1x = \phi1z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

N2:

$u2x = u2y = u2z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi2x = \phi2z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

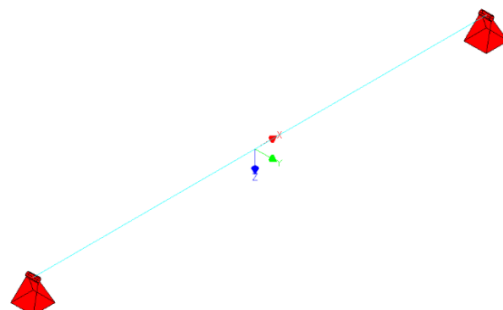


Figura 25. Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones

Los principales resultados son los siguientes.

- Tren normal en curva:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 60 KM/H		
My dinámico (tren normal)=	1674	[KNm]
My statico (tren normal)=	1581	[KNm]
$\phi =$	1.059	

- Tren de mantenimiento en curva:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 50 KM/H		
My dinámico (tren de mantenimiento)=	1888	[KNm]
My statico (tren de mantenimiento)=	1819	[KNm]
$\phi =$	1.038	

El examen de los resultados es dado a continuación:

- Para el tren de mantenimiento el coeficiente dinámico es ligeramente inferior que para el tren normal, aproximadamente 1.04 en curva.
- Para el tren normal en curva ($L=25m$) coeficiente dinámico es 1.06 para una velocidad de 60 km/h. Este valor es inferior que el valor global de cálculo que vale 1.30.

En conclusión el comportamiento de las obras compuestas de un vía es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes.

5.2.4 Trabe de concreto en U con cajón

El objetivo consiste en evaluar el comportamiento dinámico de las traveses de concreto con un cajón, con dos vías, y muy especialmente el coeficiente de ampliación dinámico, un análisis dinámico ha sido realizado con software CEDYPIA sobre los tramos de 23 m en línea recta.

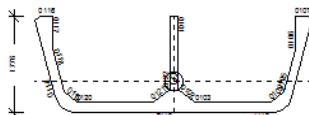


Figura 26. Sección tipo de trabe de concreto en U con cajón

- Peso propio en línea recta: $w = 7.96 \text{ ton/m}$ Carga muerta: $w = 10.25 \text{ ton/m}$
- Hipótesis de cálculo: L 23 m en línea recta

Para Cedypia		
E (módulo de elasticidad de lo acero)=	35000	[MN/m ²]
I _y =	0.5980	[m ⁴]
I _x =	4.8600	[m ⁴]
L tramo=	23.14	[m]
Excentricidad Carga Viva=	1.125	[m]
Y=	25	[KN/m ³]
Amortización=	1	
Inercia polar de las masas=	13645	[Kgm]
Peso propio+carga Muerta =	18210	[kg/m]

Tabla 20. Hipótesis de cálculo: L 25m en curva

- Condiciones límites:

N1:

$u1x = u1y = u1z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi1x = \phi1z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

N2:

$u2x = u2y = u2z = 0$ (desplazamientos bloqueados)

$\phi2x = \phi2z = 0$ (rotaciones bloqueadas)

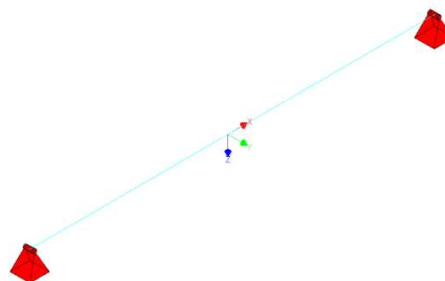


Figura 27. Esquema-referencia de desplazamientos y rotaciones

Los principales resultados son los siguientes.

- Tren normal en línea recta:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 90 KM/H		
My dinamico (tren normal)=	3284	[KNm]
My statico (tren normal)=	2884	[KNm]
ϕ=	1.14	

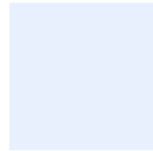
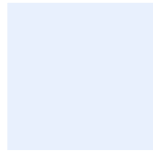
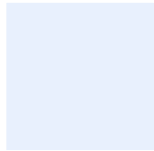
- Tren de mantenimiento en línea recta:

COEFICIENTE DINÁMICO CON VELOCIDAD 50 KM/H		
My dinamico (tren de mantenimiento)=	3405	[KNm]
My statico (tren de mantenimiento)=	3293	[KNm]
ϕ=	1.03	

El examen de los resultados es dado a continuación:

- Para el tren de mantenimiento el coeficiente dinámico es inferior que para el tren normal, aproximadamente 1.03 en línea recta.
- Para el tren normal en línea recta (L=23m) coeficiente dinámico 1.14 para una velocidad de 90 km/h. Este valor es inferior al valor global de cálculo que vale 1.30.

En conclusión el comportamiento de las obras en U con cajón es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes.

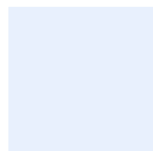
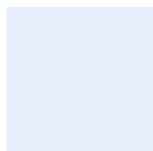
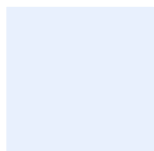


5.2.5 Conclusión sobre el comportamiento de los travesaños

Por los travesaños de concreto en W en línea recta y por los travesaños compuestos con dos vías en curva, el coeficiente dinámico obtenido para el tren normal es más grande que el coeficiente de cálculo, pero el aumento del coeficiente es débil. Esta aumentación no explica los problemas de vibraciones observados sobre la línea 12 en elevación. Todos los demás coeficientes obtenidos por las diferentes travesaños son inferiores a los coeficientes de cálculo.

Hay que anotar que la velocidad en línea recta no debe sobrepasar la velocidad de explotación que es 90 km/h, porque los coeficientes son mucho más importantes para velocidades superiores, especialmente en el caso de las obras en concreto W.

En conclusión el comportamiento de las obras es normal, no hay riesgo de desarrollo vibratorio bajo el paso de los trenes.



5.3 Inspección de las obras

La inspección de las obras comprende el tramo de línea donde el servicio al viajero ha sido suspendido (viaducto).

La inspección se realizó los días 12 y 13/05/2014 sobre el tramo elevado de la línea 12:

- al comienzo de la parte elevada cerca de la estación Culhuacán desde la estación de Los Olivos,
- entre las estaciones de Tlaltenco y de Los Olivos.

Esta inspección permite presentar el estado en que se encuentran actualmente las zonas objeto de la misma.

5.3.1 Constataciones generales

La auditoría pone en evidencia daños y desordenes de diferentes partes de las obras. Los principales defectos son los siguientes:

- Problema de drenaje y fugas,
- Variación de color del concreto, aspecto de las tabletas prefabricadas,
- Fisuras y grietas,
- Calidad de los sellados de mortero a la extremidad de los capiteles,
- Irregularidad de geometría y defectos de nivel de los tramos adyacentes.

Las constataciones realizadas sobre la parte elevada están repartidas sobre toda la longitud del viaducto.

5.3.2 Examen de las obras y principales defectos

5.3.2.1 *Problema de drenaje y fugas*

La disposición del drenaje no es perfecta, debido a la ausencia de equipamientos específicos entre los tramos para la evacuación del agua y de la lluvia. El agua gotea al nivel de la junta entre tramos, los defectos se acumulan sobre la longitud del viaducto.



Foto 46. Problema de drenaje entre dos tramos

También se observa un tubo debajo de la losa con defectos de impermeabilidad.



Foto 47. Drenaje con un tubo debajo de la losa

Además se observa que los anclajes de los postes de catenaria que están debajo de la losa presentan defectos de impermeabilidad.



Foto 48. Anclaje de poste de catenaria debajo de la losa

- Aspecto y variación de color del concreto.

Existen problemas de variación de color del concreto sobre las vigas y las tabletas, lo que no es normal para piezas prefabricadas.



Foto 49. Variación de color del concreto no uniforme sobre vigas y tabletas

- Fisuras y grietas.

Se observa una fisura del concreto sobre una viga y también hay fisuras sobre el mortero de sellado de los anclajes del pretensado.



Foto 50. Fisuras del concreto y del mortero de sellado

- Calidad de los sellados de mortero en la extremidad de los capiteles.

Los sellados de mortero de los anclajes en la extremidad de los capiteles están dañados, esto es probablemente debido a la calidad del mortero utilizado. Estos defectos afectan a ciertas zonas del viaducto.



Foto 51. Calidad de los sellados de mortero en la extremidad de los capiteles

- Irregularidad de la geometría y defectos de nivel de los tramos adyacentes.

Los segmentos en U con cajón inferior, en las zonas de aparatos de vía, están bastante mal ajustados. También hay problemas de posicionamiento de los tramos prefabricados en las zonas de curvatura en plano



Foto 52. Irregularidad de geometría de los segmentos y tramos prefabricados

Además se observa un problema de flecha en un tramo cerca de la estación Lomas Estrellas. La flecha es excesiva y se acompaña de una rotación en la extremidad del tablero al nivel del tramo adyacente.



Foto 53. Flecha excesiva de un tramo y una rotación de la extremidad

Se observan también un problema de quebrado del patín inferior de una viga de acero, cerca del apoyo.



Foto 54. Patín inferior con acero quebrantado

5.4 Verificación del diseño de los durmientes pretensados

La memoria de cálculo de los durmientes en concreto monobloque está basada en las normas AREMA.

El examen de la memoria de cálculo de los durmientes pretensados permitió verificar la justificación de los durmientes: los momentos de flexión de diseño, las propiedades de los durmientes, y el cálculo estructural. La memoria de cálculo confirma la capacidad estructural de los durmientes con las solicitaciones de las especificaciones funcionales.

Cabe notar que las especificaciones AREMA recomiendan un espesor mínimo del balasto comprendido entre 200 y 330 mm para durmientes des estas dimensiones que.

El análisis del informe de Rocla Concrete Tie Inc. sobre la mezcla del concreto de los durmientes muestra que la cantidad de cemento es importante, comprendida entre 450 y 480 kg/m³. Este valor permite obtener una resistencia del concreto antes de 2 días, lo que es suficiente para acelerar el ciclo de producción, pero tiene como desventaja dar un concreto que tiene un calor fuerte de hidratación.

5.5 Fisuras malladas de los durmientes en concreto

Tenemos planos de los durmientes y una presentación realizada por ICA / PRET sobre el proceso de fabricación de los durmientes. En esta presentación se presenta la problemática de los defectos encontrados en los durmientes de concreto pretensado.

La falla que afecta a 10626 piezas es una fisura mallada (mapeo, véanse Foto 55). La experiencia muestra que este defecto principalmente se encuentra en concretos de gran volumen y en concretos prefabricados, donde la temperatura en el corazón del concreto fue muy significativa.

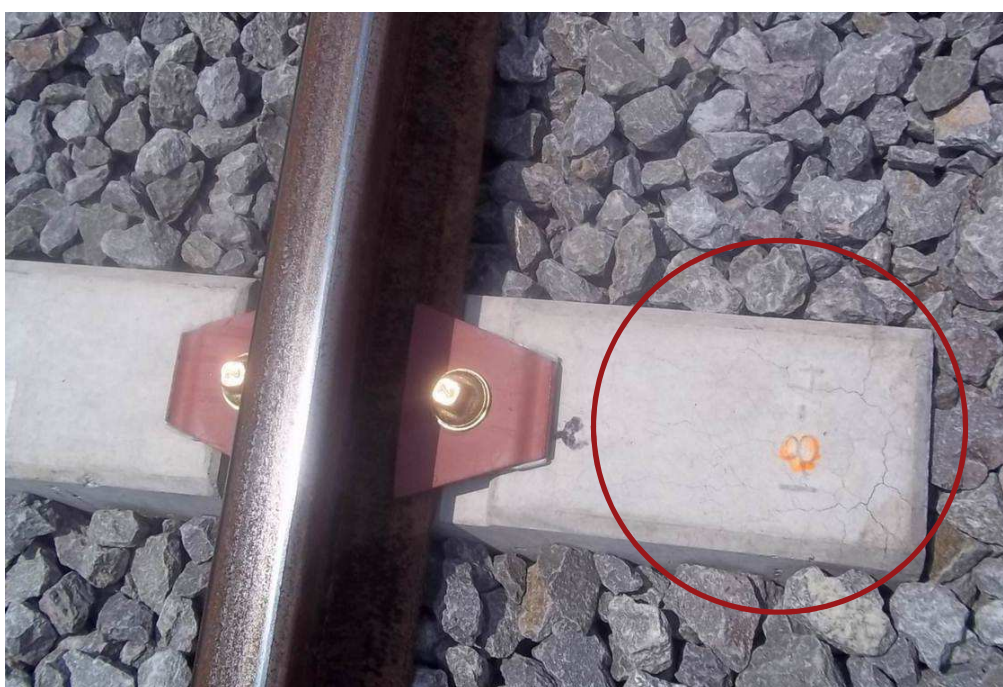
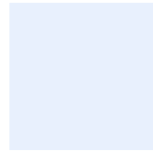
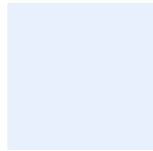
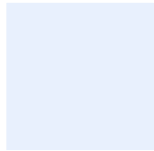


Foto 55. Fisura mallada de un durmiente de concreto

Varias condiciones deben ser cumplidas para ocasionar la patología y las fisuras malladas (mapeo): la temperatura elevada, la naturaleza y la cantidad del cemento y el medio ambiente húmedo. Estas son las condiciones que se encuentra en las piezas prefabricadas, durante la cura el hormigón es estofado bajo una cubierta, y el fenómeno es un inflamamiento del hormigón en su corazón por formación diferida de estringita (DEF).

En la presentación se dice que tomaron cuatro muestras de durmientes de concreto con la problemática y se sometieron a un examen petrográfico para determinar la posible causa de la formación de fisuras. Estas muestras fueron enviadas al Centro de Investigación para el concreto CTL en Chicago, U.S.A. Después de una serie de análisis se concluyó sobre la existencia de pasta consiste en la hidratación normal del cemento portland y poseyó abundancia de cemento en las mezclas, además hubo evidencias de expansión



interna debido a formación diferida de estringita (mapeo) y el retraso de la formación de estringita en durmientes de las muestras 3 y 4.

Para SYSTRA la presencia de estringita en ciertos durmientes es la prueba que se trata bien de una formación diferida de estringita (DEF).

5.6 Grietas de las vigas en concreto

Durante las visitas de las obras también observamos grietas sobre las vigas en concreto (Trabe de hormigón en W).

6. ANÁLISIS DEL MANTENIMIENTO DE VÍA Y MATERIAL RODANTE

6.1 Análisis del documento de mantenimiento de la Vía Férrea (manual de mantenimiento)

El documento PMDF-11-VI.8-61 2000-II-0062-50789-E-00 define el mantenimiento corriente a realizar en la línea.

En particular, se define la trocha de las vías principales:

- 1435mm +3/-2
- 1439 para $R < 75m$.

Por lo tanto, podemos deducir que la trocha de vía tiene un valor de 1435mm para un radio comprendido entre $75m < R \leq \infty$, tratándose de una contradicción a la normativa UIC (UIC 710) que define una sobre-trocha en curva:

- $175m > R \geq 150m$ – 1435mm
- $150m > R \geq 125m$ – 1440mm
- $125m > R \geq 100m$ – 1445mm

Este punto es importante para las curvas situadas en los talleres de Tlahuac y la estación de Tlahuac. Este documento define los turnos de vigilancia y de mantenimiento de los alineamientos rectos y de los aparatos de vía.

En el documento faltaría:

- el mantenimiento preventivo a realizar antes de la puesta en servicio (amolado preventivo)
- los procedimientos de trabajo
- los procedimientos de seguimiento de las intervenciones realizadas
- los métodos de corrección de los defectos de la vía:
 - o nivelación longitudinal y transversal de la geometría de la vía,
 - o utilización de sistemas de bateo pesados,
 - o reemplazo de los rieles, reemplazo de los durmientes,
 - o realización de las soldaduras,
 - o corrección de los defectos de las soldaduras,
 - o mantenimiento del contrarriel.
- Las acciones a llevar a cabo en caso de incidente:
 - o ruptura del riel,
 - o durmientes rotos,
 - o ruptura de fijaciones,

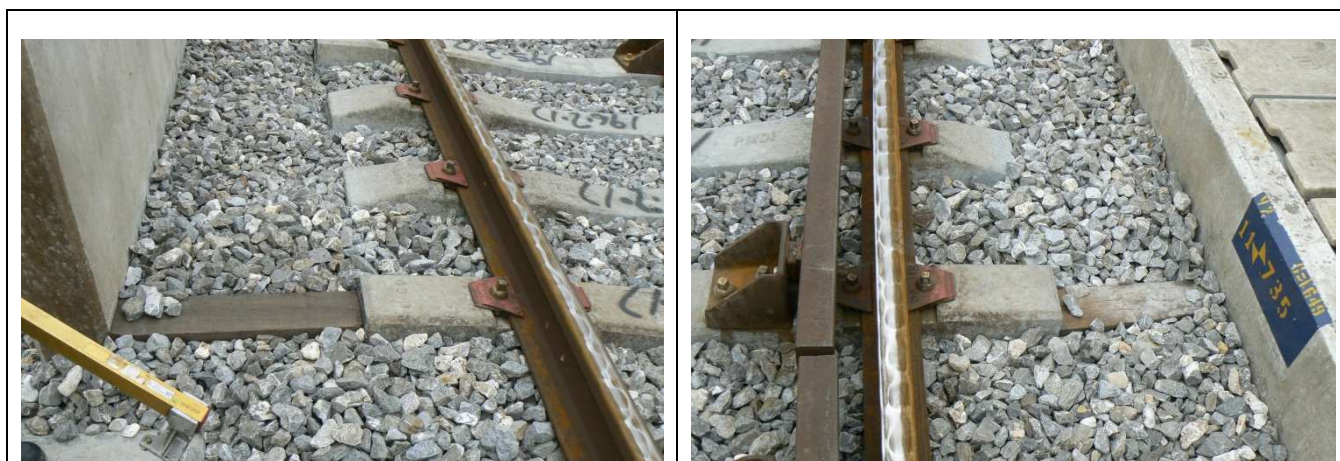
- En particular, no se ha encontrado ninguna medida para el tratamiento del desgaste ondulatorio.

El documento es demasiado escueto para garantizar un mantenimiento eficaz de las instalaciones.

6.1.1 Recepción de las obras y mantenimiento realizado

Los análisis realizados muestran la mediocre calidad de la vía así como errores importantes en su instalación (por ejemplo, las partes móviles de los aparatos de vía situados antes de la estación de San Andrés están colocados en las juntas del viaducto)

En el manual de mantenimiento, se menciona el respecto del galibo para asegurar la seguridad de la circulación. La curva n°17 (Pk 11+735) es representativa de una deficiente instalación de la vía, ésta se encuentra sujeta mediante piezas de madera (entre el durmiente de concreto y el viaducto) para garantizar la implantación de la vía.

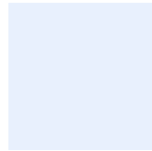
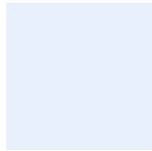
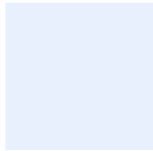


El reemplazo de numerosas durmientes ha contribuido a la destrucción de la nivelación longitudinal y transversal de la geometría de la vía (no se ha encontrado ningún procedimiento para tratar este problema). La situación es semejante en el caso del reemplazamiento de los rieles.

Estos defectos de nivelación han sido constatados por ILF-TÜV.

6.1.2 Críticas y medidas correctivas

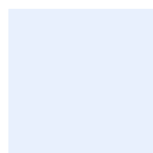
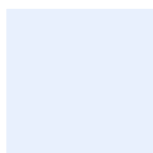
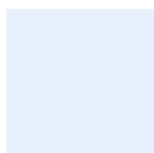
Los documentos proporcionados no son suficientes para asegurar el mantenimiento duradero de las instalaciones.



El manual de mantenimiento debe volver a redactarse para definir un plan de mantenimiento adaptado a la línea 12

6.2 Mantenimiento del Material Rodante

Las primeras informaciones de mantenimiento han sido entregadas el 09/05/2014 y están en curso de análisis por parte de SYSTRA.



7. CONCLUSIONES

7.1 Resumen del análisis

Los diferentes componentes de la vía (rieles, durmientes, sistema de fijación) tomados individualmente, están conformes a las normas internacionales, con la excepción de del balasto. 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 y no la causa de éste.

La calidad geométrica de la vía (medida y registrada por la máquina ME50 del STC) es irregular. La lectura de los registros permite evidenciar los defectos de nivelación longitudinal y transversal de la vía y la mala calidad geométrica de las soldaduras. El remplazo masivo de los durmientes en ciertas zonas ha tenido, igualmente, efectos sobre el deterioro de la geometría.

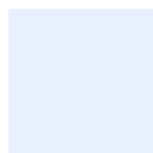
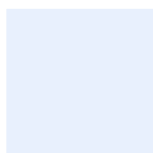
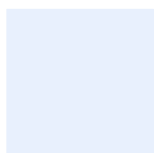
El desgaste ondulatorio está presente solamente en las curvas con radios inferiores a los 350m y en las vías desviadas de aparatos. El único punto común entre estas zonas es el radio pequeño: los aparatos se colocan sin peralte y se recorren a una velocidad reducida.

El elemento determinante en la causa del desgaste ondulatorio también es el trazado de la vía con curvas de radios inferiores a los 350m. 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, 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.

El origen del problema no parece ser un defecto de los materiales (excepto el balasto), sino un problema muy delicado de compatibilidad a nivel de la interfaz riel/rueda donde se tiene un riel que responde al estándar Arema y una rueda fabricada bajo estándares europeos. Además esta interfaz riel/rueda es delicada dado que el sistema de vía férrea es por concepción el de un metro mientras tanto el material rodante tiene más características de tren suburbano. Por fin, el problema fue agravado por un sistema de lubricación embarcado en los trenes que presenta deficiencias de funcionamiento.

Al final de esta etapa de análisis SYSTRA propone medidas de acciones inmediatas que pueden ser implementadas sin encarecer o poner en riesgo las medidas correctivas de largo plazo que se propondrán al final de la etapa siguiente.



7.2 Acciones inmediatas para la rehabilitación de la línea 12

7.2.1 Obras

No hay acciones a corto plazo.

7.2.2 Material Rodante

En espera.

7.2.3 Vía férrea

Respondiendo a la demanda específica de SOBSE, SYSTRA preconiza las siguientes acciones a realizar para disminuir las causas que puedan incrementar el fenómeno de desgaste ondulatorio.

Estas acciones no tratan el origen exacto del proceso que genera el desgaste ondulatorio.

El estudio para determinar las causas exactas del origen del defecto está en curso.

7.2.3.1 Sustitución de las agujas de los aparatos de vía que lo requieren

Durante las visitas de la línea realizadas por Systra, se han identificado despostillamientos importantes en las puntas de aguja de dos aparatos de vía:

- AG 11, situado después de la estación Tlahuac Vía 2 en dirección de Mixoac,
- AG 23A, situado en la vía Z entra la estación Tlahuac y talleres.

Se requiere el reemplazo del aparato AG11 y la revisión de la necesidad de perfilado de la aguja del aparato AG 23. Una inspección detallada de este último será realizada por TSO.

El resto de aparatos del recorrido aéreo y en viaducto, se encuentran aparentemente en buen estado.

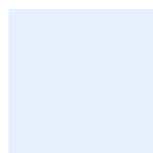
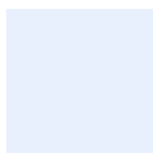
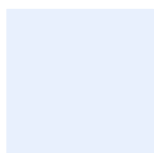
7.2.3.2 Esmerilado y desbarbado de los aparatos de vía que lo requieran

Esta operación debe ser llevada a cabo con la ayuda de una máquina especial. Comsa deberá demostrar que la amoladora está adaptada al amolado de los aparatos de vía. En el caso de que la amoladora no sea la adaptada, TSO proporcionará la máquina que permita realizar esta operación.

TSO proporcionará una lista exhaustiva de los aparatos a tratar.

7.2.3.3 Garantizar el adecuado engrasado y lubricación del riel, por el tren y por sistema fijo

Con el objetivo de asegurar un engrasado óptimo, en complemento del equipo lubricador de pestaña, SYSTRA preconiza la instalación de dos engrasadoras fijas para lubricar eficazmente las curvas n°1 y 2.



7.2.3.4 Ajustar el contrarriel para que no sea activo

En las curvas sencillas, el contrarriel en entrada de la curva se deberá ajustar a una abertura de 60mm, la laguna del contrarriel de salida no se modificará (45mm).

En el caso de las curvas en S, las lagunas del primer contrarriel serán ajustadas a una abertura de 60mm, para la segunda laguna de entrada el contrarriel será igualmente ajustado a 60mm, la laguna de salida no se modificará (45mm)

7.2.3.5 Corrección de la geometría de las soldaduras aluminotérmicas de rieles por esmerilado

El amolado de las soldaduras no es un punto particular debido a que el conjunto de la vía va a ser amolado. Sin embargo, después del amolado, una verificación de la geometría de las soldaduras deberá realizarse así como un levantamiento del perfil de riel.

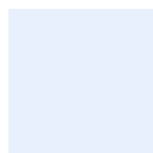
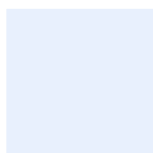
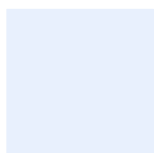
Al margen de las curvas que necesiten un control por ultrasonidos realizado por IPN (lista comunicada a Sobse) con el fin de controlar el head-checking, Systra autoriza el amolado del conjunto del sector aéreo.

7.2.3.6 Durmientes

Hay una mezcla de durmientes en las curvas 3, 5, 7, 11, 12, 16, 17 y 22, Systra recomienda la uniformización de las mismas utilizando traviesas Prêt de soporte de contrarriel.

7.2.3.7 Balasto

La norma mexicana autoriza un porcentaje de elementos finos superior a la Norma Europea EN-13450 (véanse Anexo 8.1), el futuro balasto deberá ser clase C4.



7.3 Etapa siguiente: recomendación de medidas correctivas a largo plazo

Las medidas correctivas a largo plazo que se elaboraron en la etapa siguiente tienen que tener un costo financiero de rehabilitación razonable y también garantizar que el costo de mantenimiento no se disparará en el futuro y quedará en los estándares internacionales.

Estas medidas están ya en curso de estudio.

7.3.1 Medidas relacionadas con la vía férrea

7.3.1.1 Ajuste del peralte para limitarlo a 100mm

En las curvas donde el peralte es superior a 100mm, se propondrá reducirlo y por lo tanto se calcularán nuevas velocidades límites en las mismas curvas.

7.3.1.2 Rectificación de trazado

Dado que la infraestructura de la Línea 12 se presenta bajo la forma de un viaducto y de un túnel, no hay casi espacio físico para proponer unas modificaciones de trazado, sobre todo para las vías primarias. Se estudiará si se puede rectificar el trazado donde la longitud mínima de los elementos del alineamiento horizontal es inferior a 30m.

En la zona situada entre la estación Tlahuac y el taller, donde se ubican las curvas 1 y 2 de radio muy pequeño, se estudiará si se puede proponer medidas más radicales para rediseñar esta zona que sirve de cola de maniobra para los trenes.

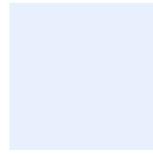
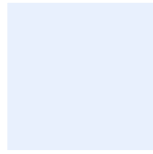
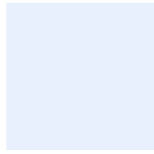
7.3.2 Medidas relacionadas con la interfaz riel/rueda

7.3.2.1 Definición de un nuevo perfil de rueda y/o de riel

Por ello, se necesita realizar el cálculo de la conicidad equivalente con los valores inferiores de la trocha de la vía y de la distancia superior entre las caras internas de las ruedas.

SYSTRA propone:

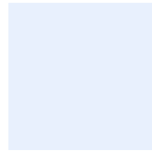
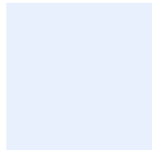
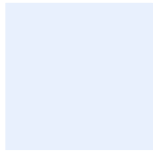
- El estudio del impacto de las modificaciones de los peraltes
- El estudio de una modificación del perfil del riel por amolado que pueda mejorar la naturaleza de contacto al suprimir los saltos de contacto.
- El estudio de otras combinaciones del conjunto rueda/riel se deberán evaluar para verificar la mejora al paso por las curvas.



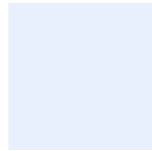
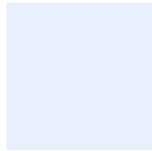
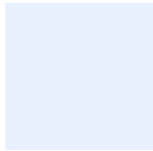
7.3.2.2 *Puesta a punto del sistema de lubricación*

El engrasado correcto de la pestaña es un equilibrio que no se encuentra instantáneamente, pero que es necesario mantener una vez que se ha encontrado. Se está estudiando la manera de hacer funcionar correctamente el sistema de lubricación embarcado en los trenes.

No hace falta considerar que un tren lubrique la vía para su propia circulación. La lubricación de una línea ferroviaria es un sistema en conjunto; en este sentido, es necesario comprender que cada tren participa en la lubricación del sistema de su conjunto. Esta es una garantía de que la pestaña no se desgatará y, por lo tanto, de la longevidad de la rueda y del riel.



8. ANEXOS



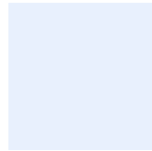
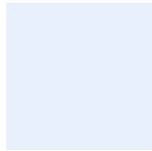
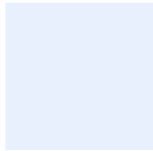
8.1 ANEXO: NORMA BALASTO

Norma europea: UNE-EN 13450, Diciembre 2003

Áridos para balasto

Norma europea: UNE-EN 13450/AC, Octubre 2004

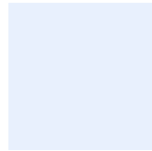
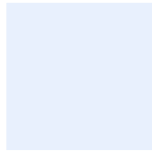
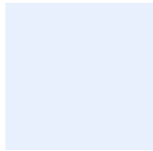
Áridos para balasto, erratum



8.2 ANEXO: NORMA LUBRICACION

European Standard: prEN 15427, November 2005

Railway Applications - Wheel/Rail Friction Management – Flange Lubrication



8.3 ANEXO: NORMA PERFIL DE RUEDA

Norme Européenne: NF EN 13715+A1, Janvier 2011

Essieux montés et bogies

Roues — Profil de roulement