

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE VELOCIDAD UTILIZADOS EN LA EXPLOTACIÓN DE METRO LIGERO OESTE Y PROPUESTA DE UN PERFIL OPTIMIZADO

MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS

Curso 2014-2015



ÁNGEL MUÑOZ HERNÁNDEZ
INGENIERO SUPERIOR INDUSTRIAL
JULIO 2015

[Página intencionadamente en blanco]

Me gustaría dedicar este proyecto, en especial, a mis padres y abuelos. Por creer siempre en mí, apoyarme en los momentos difíciles y en todas las decisiones de mi vida. Sin vuestro apoyo, no hubiera tenido la oportunidad de reorientar mi carrera profesional hacia el ferrocarril...ese mundo que me lleno de ilusiones durante mi niñez.

Y también me gustaría agradecer:

A Lupe, por ser mi apoyo y la persona que me llena de alegría todos los días.

A mis amigos y compañeros de máster por todos los momentos, buenos y malos, que hemos compartido este año.

A Metro Liger Oeste por ofrecerme la oportunidad de desarrollar este interesante proyecto y brindarme la oportunidad de entrar en el mundo ferroviario. En especial, me gustaría agradecer a Vicky, Dani, Javi, Josemi y a toda la gente de material móvil por hacerme sentir uno más, sentirme como en casa y enseñarme tantas cosas que no se aprenden en los libros.

[Página intencionadamente en blanco]

TRABAJO FIN DE MÁSTER	Curso 2014-15
MÁSTER UNIVERSITARIO EN SISTEMAS FERROVIARIOS	
DIRECTOR:	CO-DIRECTOR:
Raúl Rodríguez de la Fuente	M ^a Victoria Alba Díaz
TITULO: “ANÁLISIS DE LOS LÍMITES DE VELOCIDAD UTILIZADOS EN LA EXPLOTACIÓN DE METRO LIGERO OESTE Y PROPUESTA DE UN PERFIL OPTIMIZADO”	
RESUMEN DEL PROYECTO: Los límites de velocidad actualmente establecidos para la explotación de las líneas en las que opera Metro Ligero Oeste vienen dados por la empresa pública MINTRA (Madrid Infraestructuras de TRANsportes), siendo revisados en base a la experiencia, pero sin existir un documento técnico que justifique dichos límites de velocidad. Este análisis proveerá de un documento técnico a Metro Ligero Oeste que justifique la aplicación de un determinado perfil de velocidades sin exceder los parámetros de seguridad y confort del viajero. Como parte de este análisis, y debido a la relación existente entre velocidad y consumo energético, se llevara a cabo un estudio del impacto sobre el consumo energético para el perfil de velocidades propuesto. Adicionalmente, y debido a la obligación contractual de Metro Ligero Oeste con el Consorcio de Transportes de Madrid a mantener una determinada frecuencia entre vehículos, se realizará un estudio del impacto de los tiempos de viaje de dicho perfil para garantizar que no suponga ningún efecto negativo sobre su operación. El objetivo de este trabajo es el de auditar, mediante el análisis del trazado, los actuales límites de velocidad establecidos y proponer un perfil de velocidades optimizado en base al tiempo de viaje y/o consumo energético, siempre sin exceder los parámetros de seguridad y confort del viajero.	
ALUMNO:	
Ángel Muñoz Hernández	Madrid, 9 de julio de 2015

[Página intencionadamente en blanco]

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	3
3	CONTEXTO Y ANTECEDENTES. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	4
3.1	CONTEXTO	4
3.2	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
4	IDENTIFICACIÓN DEL TRAZADO EXISTENTE EN MLO	6
4.1	TRAZADO EN PLANTA	6
4.2	TRAZADO EN ALZADO	8
5	RESTRICCIONES DE VELOCIDAD POR TRAZADO.....	9
5.1	VELOCIDAD MÁXIMA TEÓRICA DE PASO POR CURVA.....	9
5.2	ACELERACIÓN NO COMPENSADA MÁXIMA.....	10
5.3	LIMITACIÓN DE VELOCIDAD EN CURVAS DE TRANSICIÓN	13
5.4	LIMITACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA ACELERACIÓN CENTRIFUGA SIN COMPENSAR CON RESPECTO AL TIEMPO	14
6	CÁLCULO DE VELOCIDADES MÁXIMAS	15
6.1	CRITERIOS DE DISEÑO ESTABLECIDOS PARA MLO	15
6.2	CRITERIOS DE CÁLCULO PARA LA DEFINICIÓN DEL NUEVO PERFIL DE VELOCIDADES	15
6.3	OTRAS RESTRICCIONES DE VELOCIDAD A TENER EN CUENTA.....	16
6.4	REVISIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDADES OBTENIDO	19
7	CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL MÓVIL UTILIZADO EN MLO	20
7.1	CAPACIDAD DE ACELERACIÓN/DECELERACIÓN.....	20
8	AUDITORIA DEL PERFIL ACTUAL DE VELOCIDADES	27
8.1	ZONAS DE OBLIGADA REVISIÓN DEL LÍMITE DE VELOCIDADES.....	28
9	NUEVO PERFIL TEÓRICO	30
9.1	DEFINICIÓN DEL NUEVO PERFIL	30
9.2	VALIDACIÓN DEL PERFIL	33
10	OPTIMIZACIÓN DEL PERFIL TEÓRICO PROPUESTO.....	39
10.1	OBTENCIÓN DE DATOS DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	39
10.2	PRUEBAS EN VÍA	40
10.3	IMPACTO EN TIEMPOS DE VIAJE.....	41
10.4	CONSUMO ENERGÉTICO	43
10.5	PROPUESTA DE PERFIL DE VELOCIDADES	52
11	CONCLUSIONES.....	54
12	PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN.....	55
13	REFERENCIAS	56

14	ANEXO 1: PARÁMETROS DE TRAZADO	57
14.1	TRAZADO ML2 – Vía 1	57
14.2	TRAZADO ML2 – Vía 2	62
14.3	TRAZADO ML3 – Vía 1	67
14.4	TRAZADO ML3 – Vía 2	73
15	ANEXO 2: VELOCIDADES MÁXIMAS CALCULADAS POR TRAMO.....	79
15.1	VELOCIDADES MÁXIMAS POR TRAMO EN ML2 – Vía 1.....	79
15.2	VELOCIDADES MÁXIMAS POR TRAMO EN ML2 – Vía 2.....	84
15.3	VELOCIDADES MÁXIMAS POR TRAMO EN ML3 – Vía 1.....	89
15.4	VELOCIDADES MÁXIMAS POR TRAMO EN ML3 – Vía 2.....	95
16	ANEXO 3: REGLAMENTO DE CIRCULACIÓN	101
17	ANEXO 4: RESULTADOS PRUEBAS DE DECELERACIÓN	102
18	ANEXO 5: INFORME DETALLADO DE LA AUDITORIA DEL PERFIL DE VELOCIDADES ACTUAL.....	103
18.1	ZONAS DE OBLIGADA REVISIÓN DEL LÍMITE DE VELOCIDADES EN ML2.....	104
18.2	ZONAS DE OBLIGADA REVISIÓN DEL LÍMITE DE VELOCIDADES EN ML3.....	112
19	ANEXO 6: PRIMER PERFIL TEÓRICO PROPUESTO	125
19.1	PROPUESTA PERFIL TEÓRICO ML2 - Vía 1 CON ANOTACIONES PARA PRUEBAS EN VÍA.	125
19.2	PROPUESTA PERFIL TEÓRICO ML2 - Vía 2 CON ANOTACIONES PARA PRUEBAS EN VÍA.	126
19.3	PROPUESTA PERFIL TEÓRICO ML3 - Vía 1 CON ANOTACIONES PARA PRUEBAS EN VÍA.	127
19.4	PROPUESTA PERFIL TEÓRICO ML3 - Vía 2 CON ANOTACIONES PARA PRUEBAS EN VÍA.	129
20	ANEXO 7: PROPUESTA DE PERFIL DE VELOCIDADES OPTIMIZADO	131
20.1	PROPUESTA PERFIL OPTIMIZADO PARA ML2 - Vía 1	131
20.2	PROPUESTA PERFIL OPTIMIZADO PARA ML2 - Vía 2	132
20.3	PROPUESTA PERFIL OPTIMIZADO PARA ML3 – Vía 1	133
20.4	PROPUESTA PERFIL OPTIMIZADO PARA ML3 – Vía 2	134
21	ANEXO 8: ESQUEMA TRANVÍA MODELO ALSTOM CITADIS 302	135

Listado de Ilustraciones:

Ilustración 1-1: Atascos en Madrid	1
Ilustración 1-2: Integración urbana del Metro Ligero en Boadilla del Monte. Línea ML3	1
Ilustración 1-3: Cabina de conducción del Alstom CITADIS 302 usado por MLO circulando por ML3	2
Ilustración 3-1: Plano esquemático de las líneas ML2 y ML3 explotadas por Metro Ligero Oeste	4
Ilustración 3-2: CITADIS 302 circulando por ML3.....	4
Ilustración 4-1: Ejemplo de medidor de ancho de vía y peralte	8
Ilustración 4-2: Ejemplo de carro auscultador manual de geometría de vía.....	8
Ilustración 6-1: Curva en S existente en ML3 entre las paradas de Boadilla Centro y Nuevo Mundo.....	17
Ilustración 6-2: Plataforma urbana por Boadilla del Monte en ML3.....	18
Ilustración 6-3: Plataforma peatonal en las cercanías de la parada de Ciudad del Cine en ML3	19
Ilustración 7-1: CITADIS 302 de Alstom entrando en la parada de Ciudad del Cine (Línea ML3)	20
Ilustración 7-2: Detalle de la vía de pruebas disponible en el recinto de Talleres y Cocheras de MLO	21
Ilustración 7-3: Detalle del manipulador presente en la cabina de conducción del tranvía CITADIS 302 de MLO con sus diferentes posiciones	23
Ilustración 9-1: Detalles del mensaje colocado durante las pruebas en vía en las puertas del vehículo	34
Ilustración 10-1: Esquema de funcionamiento del Medidor de Energía (EMS)	39

Listado de Tablas:

Tabla 5-1: Valores recomendados de aceleración no compensada (α_{nc}) máxima en los criterios de diseño consultados.	11
Tabla 5-2: Valores recomendados para la aceleración total sobre el viajero y su efecto sobre el nivel de comodidad	12
Tabla 5-3: Valores recomendados para la aceleración no compensada (α_{nc}) y su efecto sobre el nivel de comodidad para el pasajero teniendo en cuenta el coef. de flexibilidad o 'souplesse' del CITADIS 302... 12	12
Tabla 5-4: Criterios de diseño establecidos por MINTRA para las líneas de MLO en curvas de transición.	13
Tabla 5-5: Criterio de variación de la aceleración sin compensar respecto al tiempo y su efecto sobre el nivel de comodidad	14
Tabla 6-1: Criterios de diseño establecidos por MINTRA para las líneas de MLO en lo referente a aceleraciones transversales.	15
Tabla 6-2: Criterios de cálculo establecidos para obtener las velocidades máximas por tramo	16
Tabla 6-3: Zonas donde aplica una limitación de velocidad por discurrir la línea por trazado peatonal/urbano	19
Tabla 7-1: Deceleración media obtenida para cada unidad durante pruebas de frenado.	21
Tabla 7-2: Resumen de los valores usados en la definición de las curvas de aceleración/deceleración.	26
Tabla 9-1: Estimación del impacto en los tiempos de viaje del nuevo perfil teórico.	33
Tabla 9-2: Relación de salidas a vía para la validación del nuevo perfil teórico de velocidades.	35
Tabla 10-1: Relación de salidas a vía para la obtención de datos del nuevo perfil de velocidades.	40
Tabla 10-2: Resumen del impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil.	41
Tabla 10-3: Resumen del impacto en la velocidad comercial media del nuevo perfil.....	42
Tabla 10-4: Impacto en consumo neto de tracción del nuevo perfil en ML2	46
Tabla 10-5: Impacto en consumo neto de tracción del nuevo perfil en ML2	50
Tabla 10-6: Resumen de cambios realizados en el perfil de velocidades para optimizar consumo energético	53
Tabla 16-1: Velocidades máximas definidas en el Reglamento de Circulación de MLO.	101
Tabla 17-1: Mediciones tomadas de las pruebas de frenado realizadas en Febrero 2015	102

Listado de Figuras:

Figura 3-1: Frecuencias de viaje según horario y tipo de día. Horario de invierno.	5
Figura 3-2: Frecuencias de viaje según horario y tipo de día. Horario de verano.	5
Figura 4-1: Alineación recta entre curvas en S.....	7
Figura 4-2: Principales parámetros de la transición en planta	7
Figura 5-1: Esquema de las fuerzas actuantes sobre un coche en curva considerado en ausencia de suspensión.	9
Figura 5-2: Esquema de las fuerzas actuantes sobre un coche en curva considerando el efecto de las suspensiones.	10
Figura 6-1: Esquema de alineación recta entre curvas en S sin curva de transición.....	16
Figura 6-2: Esquema de parada con las distancias a las que se aplicara la limitación de velocidad.....	17
Figura 6-3: Esquema de la aplicación de los límites de velocidad de paso por aguja en función del sentido de marcha	18
Figura 8-1: Comparación de los perfiles de velocidad máximo con el perfil actual.....	27
Figura 9-1: Ejemplo de definición de la propuesta de perfil teórico de velocidades usando curvas de aceleración/deceleración.....	31
Figura 9-2: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML2 - Vía 1.....	31
Figura 9-3: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML2 - Vía 2.....	32
Figura 9-4: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML3 - Vía 1.....	32
Figura 9-5: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML3 - Vía 2.....	32
Figura 10-1: Impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil sobre ML2.....	41
Figura 10-2: Impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil sobre ML3.....	42
Figura 10-3: Distribución de consumos netos de tracción con perfil actual de velocidades en ML2	46
Figura 10-4: Impacto en consumos netos de tracción del nuevo perfil en ML2.....	47
Figura 10-5: Comparativa consumos netos de tracción en ML2 por trayecto.	47
Figura 10-6: Perfil de ML2 entre las paradas de Avda. Europa y Berna.	48
Figura 10-7: Velocidad del vehículo y potencia demanda por los motores durante las pruebas en vía por ML2.....	49
Figura 10-8: Distribución de consumos netos de tracción con perfil actual de velocidades en ML3	50
Figura 10-9: Impacto en consumos netos de tracción del nuevo perfil en ML3.....	51
Figura 10-10: Comparativa consumos netos de tracción en ML3 por trayecto.	51
Figura 18-1: Comparación de los perfiles de velocidad máximo con el perfil actual.....	103
Figura 21-1: Esquema tranvía modelo Alstom CITADIS 302	135

Listado de Gráficos:

Gráfico 7-1: Deceleraciones medias derivadas de mediciones tomadas en vía de pruebas.	22
Gráfico 7-2: Datos de deceleración en servicio comercial.	24
Gráfico 7-3: Datos de aceleración en servicio comercial.	25
Gráfico 18-1: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre Estación de Aravaca y P.K. 7,500.	104
Gráfico 18-2: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 4,600 y P.K. 3,000.	105
Gráfico 18-3: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 3,100 y P.K. 1,500.	106
Gráfico 18-4: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 1,600 y estación de Colonia Jardín.	107
Gráfico 18-5: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre estación de Colonia Jardín y P.K. 1,600.	108
Gráfico 18-6: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.	109
Gráfico 18-7: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 6,000 y P.K. 7,600.	110
Gráfico 18-8: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 6,000 y Estación de Aravaca.	111
Gráfico 18-9: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 13,600 y P.K. 12,000.	112
Gráfico 18-10: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 12,100 y P.K. 10,500.	113
Gráfico 18-11: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 12,100 y P.K. 10,500.	114
Gráfico 18-12: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 7,600 y P.K. 6,000.	115
Gráfico 18-13: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 4,600 y P.K. 3,000.	116
Gráfico 18-14: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 1,600 y estación de Colonia Jardín.	117
Gráfico 18-15: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre estación de Colonia Jardín y P.K. 1,600.	118
Gráfico 18-16: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.	119
Gráfico 18-17: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.	120
Gráfico 18-18: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 5,000 y P.K. 6,600.	121
Gráfico 18-19: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 8,500 y P.K. 10,100.	122
Gráfico 18-20: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 8,500 y P.K. 10,100.	123

Glosario:

CRTM – Consorcio Regional de Transportes de Madrid, sociedad pública dependiente de la Comunidad de Madrid que gestiona y regula todos los transportes públicos colectivos de la Comunidad.

DEUTA – Registrador jurídico embarcado en la flota de Metro Ligero Oeste suministrado por el fabricante DEUTA-WERKE GmbH.

DILAX – Sistema de conteo de pasajeros embarcado en un tercio de la flota de Metro Ligero Oeste (*unidades 101 a 109*) suministrado por el fabricante DILAX.

FNS – Freno Normal de Servicio, esfuerzo de freno progresivo y proporcional al ángulo recorrido por el manipulador en la zona de freno FNS.

FMS – Freno Máximo de Servicio, deceleración máxima del vehículo que se consigue aplicando freno electrodinámico y freno hidráulico.

FU – Freno de Urgencia, deceleración máxima del vehículo que se consigue aplicando freno electrodinámico, freno hidráulico y patines electromagnéticos.

GLO – Gálilo Libre de Obstáculos, espacio mínimo de seguridad necesario para el paso de un vehículo. Puede ser definido por una línea continua marcada en el pavimento o por una pequeña barrera física.

MINTRA – Madrid INfraestructuras de TRAnspORTE, era la entidad pública empresarial dependiente de la Comunidad de Madrid que se encargaba de diseñar, construir, mantener y gestionar las infraestructuras de transporte público colectivo.

MLO – Metro Ligero Oeste S.A., es la empresa concesionaria de las dos líneas de metro ligero que conectan los municipios de Boadilla del Monte y Pozuelo de Alarcón con la red de Metro, Cercanías y autobuses de la Comunidad de Madrid.

ML2 – Línea 2 de Metro Ligero Oeste, línea de metro ligero que conecta las estaciones de Colonia Jardín y Estación de Aravaca.

ML3 – Línea 3 de Metro Ligero Oeste, línea de metro ligero que conecta las estaciones de Colonia Jardín y Puerta de Boadilla.

P.K. – Punto Kilométrico, señal que indica la distancia desde el inicio de la línea por la que se circula. En el caso de Metro Ligero Oeste, el inicio de ML2 y ML3 se encuentra en la estación de Colonia Jardín.

Responsable de Línea – Mando intermedio entre la Dirección de Operación y los conductores.

UGZO – Unidad de Gestión de la Zona de Operación, es la entidad creada para organizar y autorizar las actividades en la Zona de Operación en la que estarán representados la Dirección de Mantenimiento, la Dirección de Operación, Seguridad y Salud en el Trabajo y cualquier representación añadida de MLO o de alguna entidad externa cuyas actividades puedan desarrollarse temporalmente en la Zona de Operación.

Vía 1 – Vía con sentido entrada a estación Colonia Jardín.

Vía 2 – Vía con sentido salida de estación Colonia Jardín.

Zona de Operación – Es toda la plataforma correspondiente a las líneas de MLO, Talleres y Cocheras, andenes de estaciones y paradas y cuartos técnicos.

1 Introducción

El uso del vehículo particular para los desplazamientos dentro de las ciudades está altamente extendido. Esto comienza a ser un problema, no sólo por llegarse al límite de la capacidad de las actuales infraestructuras, si no por los problemas medioambientales debido a la emisión de gases contaminantes tales como CO₂ y NO₂. Esto lleva a numerosos expertos a considerar este modelo de transporte "*insostenible*" y destacar la necesidad de fomentar el uso del transporte público.



Ilustración 1-1: Atascos en Madrid. [Fuente: Internet]

De entre los diferentes medios de transporte públicos, el Metro Ligero es un modo de transporte cuyas características lo hacen idóneo por su integración urbana. De entre sus ventajas se podrían destacar las siguientes:

- **Puntual:** Gracias a su prioridad semafórica, garantiza una alta puntualidad.
- **Ecológico:** No emite gases y su contaminación directa es muy baja, por tanto, permite la reducción de la contaminación en los cascos urbanos.
- **Accesible:** Los vehículos suelen ser de piso bajo y con andenes adaptados que permiten una accesibilidad total para personas con movilidad reducida (PMR), personas con sillas de niños o bicicletas.



Ilustración 1-2: Integración urbana del Metro Ligero en Boadilla del Monte. Línea ML3.
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

Sin embargo, estas características no son suficientes para que este medio de transporte sea atractivo a los potenciales usuarios. La gente busca la opción de transporte que mejor se adapta a sus necesidades y que minimiza los tiempos de desplazamiento. Por ello, se observa que es necesario que el Metro Ligero sea un modo de transporte competitivo en cuanto a tiempos de viaje.

Por otro lado, el Metro Ligero es un modo de transporte ferroviario que carece de sistemas ATP (Automatic Train Protection) que supervisan la velocidad de manera continua, o sistemas ATO (Automatic Train Operation) que permiten la conducción automática del tren, como sí existen en Metro de Madrid. La conducción de un Metro Ligero, por discurrir por trazados urbanos y compartir plataforma con otros vehículos y peatones, se realiza en "*Marcha a la vista*". Esto implica que el conductor es completamente responsable de la conducción del vehículo y de respetar la señalización lateral presente en el trazado. Por ello, y para evitar situaciones de riesgo en la circulación de los vehículos, los límites de velocidad deben ser cuidadosamente analizados y justificados.



Ilustración 1-3: Cabina de conducción del Alstom CITADIS 302 usado por MLO circulando por ML3.
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

Con esta introducción se pretende concienciar al lector de la importancia de establecer unos límites de velocidades que busquen minimizar los tiempos de viaje pero que mantengan unos niveles de seguridad y confort para el pasajero.

2 Objetivos y alcance

El objetivo del presente trabajo es el de auditar, mediante el análisis del trazado, los actuales límites de velocidad establecidos en la explotación de Metro Ligero Oeste y proponer un perfil de velocidades que optimice consumo energético y tiempo de viaje, siempre sin exceder los parámetros de seguridad y confort del viajero.

Para el correcto desarrollo del trabajo y poder garantizar el cumplimiento del objetivo marcado, el trabajo se ha dividido en las siguientes cinco fases:

❖ **FASE 1: Obtención de los parámetros geométricos del trazado.**

A partir de los estudios topográficos se definirá el trazado en su totalidad y se identificarán las zonas donde existan limitaciones de velocidad.

❖ **FASE 2: Análisis de las velocidades máximas por trazado.**

Se analizará el trazado en base a criterios de diseño, y confort del viajero, admisibles para definir el perfil de velocidades máximas. Se realizará un primer filtrado de los picos de velocidades en base al porcentaje del vehículo inscrito en dicho tramo.

❖ **FASE 3: Análisis de las aceleraciones/deceleraciones del tranvía CITADIS 302 para la obtención del perfil de velocidades que minimice el tiempo de recorrido.**

Se realizarán pruebas de aceleración y frenado sobre un tercio de la flota. El objetivo es obtener un valor representativo de la capacidad de deceleración actual del CITADIS 302 al aplicar Freno Máximo de Servicio, así como, los valores de aceleración media de la flota. Las curvas de frenado y aceleración obtenidas serán utilizadas para establecer un perfil de velocidades que minimice el tiempo de recorrido.

Una vez finalizadas estas fases, se auditará el actual perfil y se propondrá un nuevo perfil teórico que se validará en campo. Posteriormente, dicho perfil se optimizará según tiempos de viaje y consumo energético.

❖ **FASE 4: Análisis del impacto en el consumo energético del nuevo perfil propuesto.**

Se relacionarán los datos de consumo energético de tracción de la unidad 106, equipada de medidor/registrador de energía, con el actual perfil de velocidades para identificar los factores que más influyen en dicho consumo.

Partiendo de estas conclusiones, se propondrá un nuevo perfil de velocidades que minimice el consumo energético. Se realizarán pruebas en línea que validen la propuesta y sirvan también para medir el impacto en el tiempo de viaje.

❖ **FASE 5: Propuesta de perfil de velocidades.**

Con todos los parámetros anteriormente analizados, se propondrá un perfil optimizado de velocidades con su correspondiente justificación técnica.

3 Contexto y antecedentes. Justificación del proyecto.

3.1 Contexto

Metro Liger Oeste, S.A. (MLO) es la empresa concesionaria de las dos líneas de metro ligero que, desde julio de 2007, conectan los municipios de Boadilla del Monte y Pozuelo de Alarcón con la red de Metro, Cercanías y autobuses de la Comunidad de Madrid.

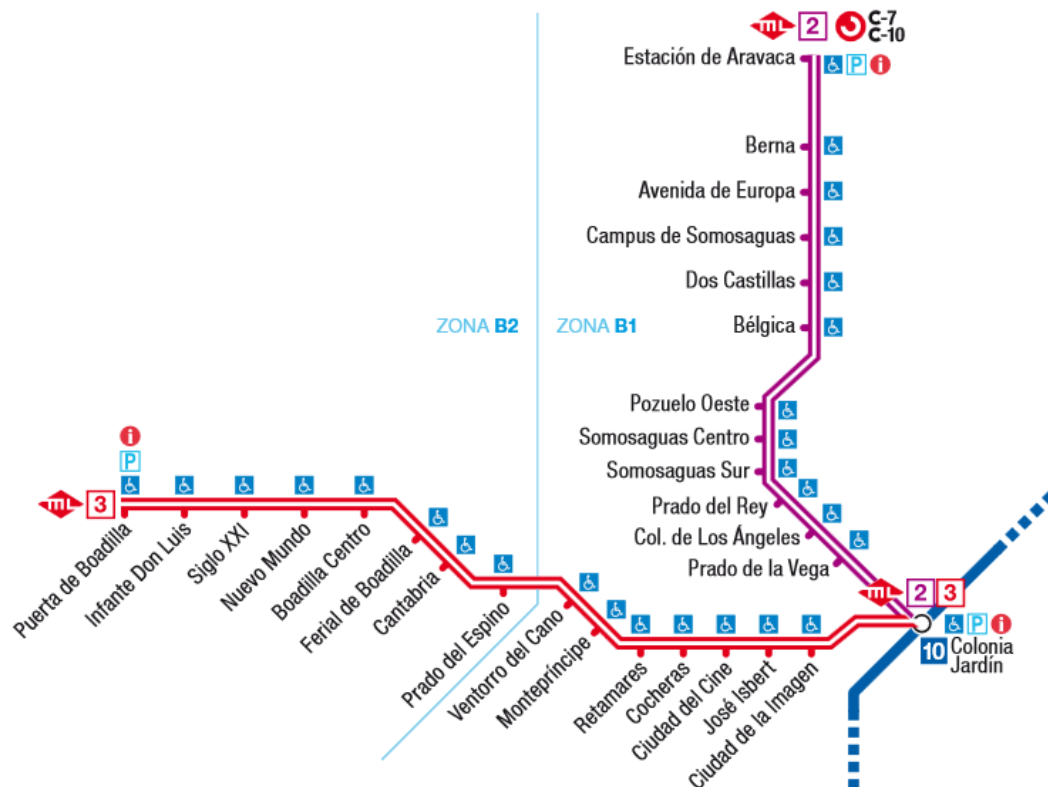


Ilustración 3-1: Plano esquemático de las líneas ML2 y ML3 explotadas por Metro Liger Oeste.
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

Con una flota de 27 unidades CITADIS 302 de Alstom, se garantiza la prestación de servicio en las líneas ML2 (Colonia Jardín – Estación de Aravaca) y ML3 (Colonia Jardín – Puerta de Boadilla) con las frecuencias que se muestran en la Figura 3-1 y en la Figura 3-2.



Ilustración 3-2: CITADIS 302 circulando por ML3.
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

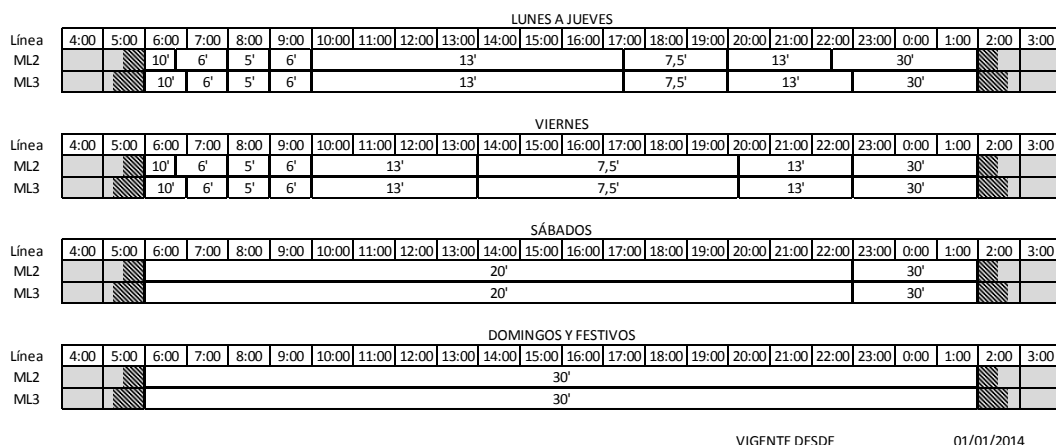


Figura 3-1: Frecuencias de viaje según horario y tipo de día. Horario de invierno.
[Fuente: Metro LigerO Oeste]



Figura 3-2: Frecuencias de viaje según horario y tipo de día. Horario de verano.
[Fuente: Metro LigerO Oeste]

3.2 Justificación del proyecto

Los límites de velocidad actualmente establecidos para la explotación de las líneas en las que opera MLO vienen dados por la empresa pública MINTRA (Madrid INfraestructuras de TRANsportes), habiendo sido revisados en base a la experiencia, pero sin existir un documento técnico que justifique la aplicación de dichos límites.

Este análisis busca proveer de un documento técnico a MLO que justifique la aplicación de un determinado perfil de velocidades, sin exceder los parámetros de seguridad y confort del viajero.

Como parte de este análisis, y debido a la relación existente entre velocidad y consumo energético, se llevara a cabo un estudio del impacto sobre el consumo energético para el perfil de velocidades propuesto. Adicionalmente, y debido a la obligación contractual de MLO con el Consorcio de Transportes de Madrid (CRTM) a mantener una determinada frecuencia entre vehículos, se realizará un estudio del impacto de los tiempos de viaje para el perfil de velocidades propuesto para garantizar que no suponga ningún efecto negativo sobre su operación.

4 Identificación del trazado existente en MLO

Para el análisis del trazado se ha partido de los datos de topografía clásica tomados por la empresa Norte Topografía en el año 2013. Estos datos permitirán tener una visión del trazado ejecutado y darán respuesta a la *FASE 1* definida en el apartado 2.

4.1 Trazado en planta

Durante el proceso del estudio del trazado en planta se toman como referencia los planos obtenidos a través de cartografía. En ellos se muestra con detalle los P.K. y datos de diagrama de peraltes/curvatura de la plataforma.

Sin embargo, para la obtención de los datos relevantes de la vía, tales como tipo de tramo (alineación recta, acuerdo circular o de transición), longitud y P.K. de inicio/fin, se decide utilizar los datos de topografía clásica tomados de cada carril.

La razón para hacerlo de esta manera es que muestran una visión más exacta del trazado. Además, en este proceso se ha observado que el eje de la vía, definido en la cartografía, mostraba discrepancias con los datos de topografía.

Para definir el trazado en detalle se identifican en primer lugar aquellos tramos con alineación recta y curva circular. Una vez realizado este paso, se definen las curvas de transición como se explica en el apartado 4.1.2.

En el Anexo 1 se resumen los parámetros de trazado en detalle para cada una de las líneas identificando el tipo de tramo, su longitud, radio/parámetro de clotoide y P.K. inicio/fin. En dicho resumen, se incluyen también los valores de peralte para el inicio/final de cada tramo obtenidos como se explica en el apartado 4.2.1.

4.1.1 Identificación de curvas circulares

Para la definición de la curva circular, se utiliza siempre el carril interior de la vía. Mediante tres puntos se define un arco sobre el carril siendo posteriormente trasladado, la distancia del semi-ancho de vía, para obtener el eje. Este criterio se ha elegido por ser más conservador, mostrando el radio y longitud mínimas para dicha curva.

Adicionalmente, en aquellas zonas donde existen curvas en S y que por longitud no permitirían la existencia de curvas de transición, se intenta identificar dos acuerdos circulares que se presten a una curva en S como muestra la opción a) en la Figura 4-1.

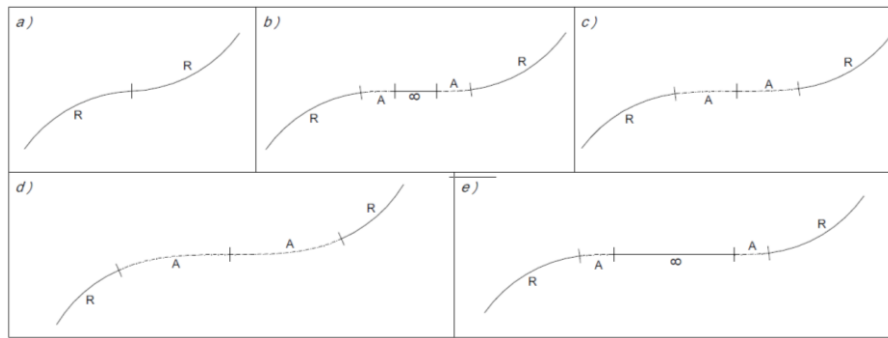


Figura 4-1: Alineación recta entre curvas en S. [Fuente: Andrés Hilarión, 2010]

4.1.2 Identificación de curvas de transición

Debido a que el programa AutoCAD no permite la definición de curvas de transición, el parámetro y la longitud de las clotoides se ha calculado una vez se definieron todas las alineaciones rectas y curvas circulares.

Para la obtención del parámetro de la clotoide se aplicó la siguiente ecuación: $A = \sqrt{L_{clotoide} \cdot R}$

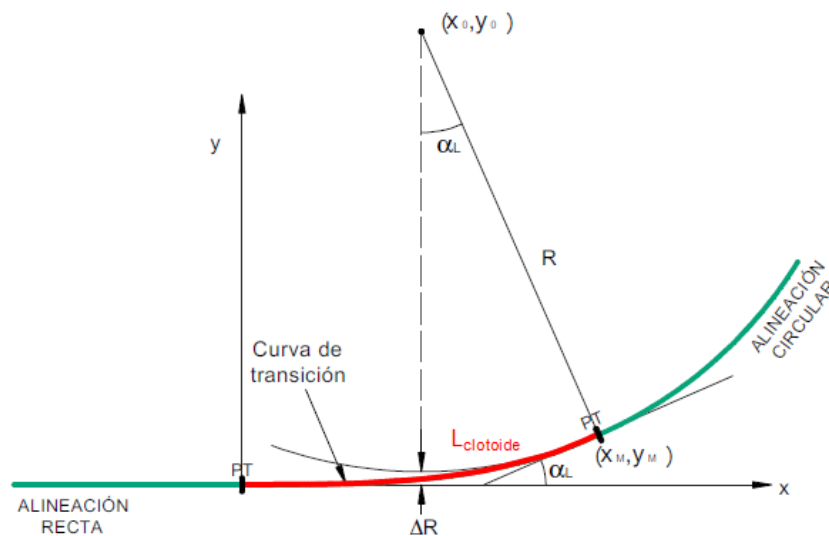


Figura 4-2: Principales parámetros de la transición en planta. [Fuente: Andrés Hilarión, 2010]

- En los casos en los que la curva de transición está situada entre una alineación recta y una curva circular, la longitud de la clotoide ($L_{clotoide}$) se define como la distancia entre el final de la recta y el inicio de la curva, siendo el radio final de la clotoide igual al de la curva circular.
- En los casos de alineación recta entre curvas en S mediante curvas de transición, como muestra la opción d) en la Figura 4-1, el punto de transición entre clotoides se identifica con ayuda de los datos de curvatura de la plataforma disponibles en la cartografía. Una vez identificado ese punto, la longitud de la clotoide ($L_{clotoide}$) se define como la distancia entre dicho punto y el inicio de la curva siendo el radio final de la clotoide igual al de la curva circular.

4.2 Trazado en Alzado

El análisis del perfil de las líneas se realiza mediante el uso de las cotas de los carriles, definidas en los perfiles longitudinales. Dichas cotas fueron tomadas mediante topografía clásica por la empresa Norte Topografía en el año 2013. La toma de datos se realizó en intervalos de 20 metros definiendo así el perfil de la línea.

4.2.1 Definición del peralte

En un principio, para la obtención del peralte se procedió al cálculo de la diferencia de cotas entre carriles. Aplicando dicho criterio se descubrieron valores de peralte mayores a 110 mm, valor máximo de diseño para tramos de vial no compartido, y se detectaron puntos del trazado con un contra peralte excesivo. Por ello se solicitó una revisión de las cotas proporcionadas por la empresa Norte Topografía.

Debido a que esta revisión se prolongó en el tiempo, se decidió salir a realizar mediciones en vía en aquellos puntos que generaban mayor duda. Con la ayuda de un medidor de ancho de vía y de peralte en cambios, como el mostrado en la Ilustración 4-1, se verificó que había errores



Ilustración 4-1: Ejemplo de medidor de ancho de vía y peralte. [Fuente: www.robelf.info]

superiores a 10 mm entre las mediciones de campo y las calculadas a partir de los perfiles longitudinales. Posteriormente, se consultó qué tipo de instrumentación se había empleado para la definición de las cotas, siendo esta diferente a la que en un principio se creía, proporcionando mediciones menos precisas. Por esta razón, se descartó el uso de dichos datos para la definición del peralte y se buscaron otros datos de trazado disponibles para ello.

Entre los datos disponibles, se encontraban las mediciones llevadas a cabo en 2009 por un carro auscultador de geometría de vía como el mostrado en la Ilustración 4-2. Dichos datos necesitaron de un procesamiento para corregir las diferencias generadas entre el punto



**Ilustración 4-2: Ejemplo de carro auscultador manual de geometría de vía.
[Fuente: <http://www.prosutec.com/>]**

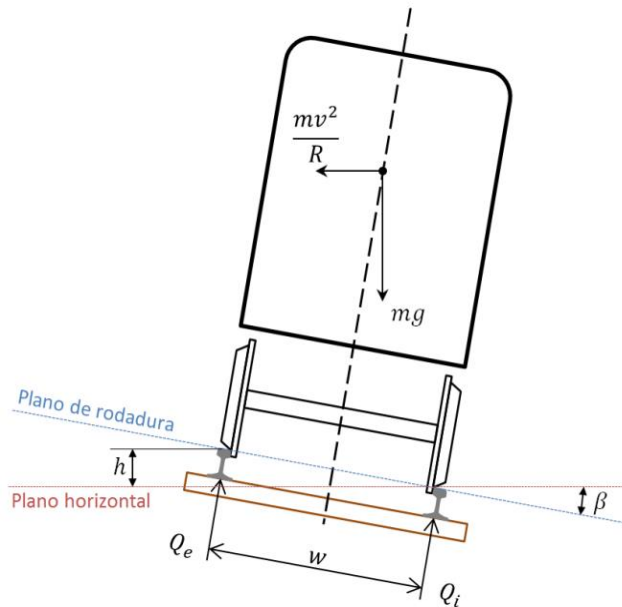
kilométrico real y la lectura proporcionada por el odómetro del carro auscultador. Para su corrección, se emplearon singularidades de la línea tales como aparatos de vía y puntos de comienzo/fin de andén de parada. Se comprobó, con mediciones aleatorias en vía, que estos datos fueran correctos con un error de ± 1.5 mm.

5 Restricciones de velocidad por trazado

En este apartado, se va a realizar el desarrollo teórico necesario para dar respuesta a la *FASE 2* definida en el apartado 2. Adicionalmente, se definirán todos los criterios de diseño necesarios para el cálculo de las velocidades máximas por trazado.

La bibliografía consultada desarrolla los equilibrios de fuerza con la finalidad de explicar las consideraciones generales que han de tenerse en cuenta a la hora de diseñar un nuevo trazado. En nuestro caso, se aplica el equilibrio de fuerzas para obtener las velocidades máximas impuestas por trazado respetando criterios de confort y seguridad.

5.1 Velocidad máxima teórica de paso por curva



De la Figura 5-1 se determina cuál es la velocidad máxima teórica de paso por curva, para la que se equilibra la fuerza centrífuga generada cuando se circula por una curva con peralte h , a partir de las ecuaciones siguientes:

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g \cdot \tan \beta = m \cdot g \cdot \frac{h}{w}$$

$$\Rightarrow h = \frac{v^2 \cdot w}{g \cdot R}$$

$$v = \sqrt{\frac{h \cdot g \cdot R}{w}}$$

Figura 5-1: Esquema de las fuerzas actuantes sobre un coche en curva considerado en ausencia de suspensión.
[Fuente: Elaboración propia]

Sin embargo, debido a que pueden circular vehículos a mayor velocidad que la de equilibrio, aparece una aceleración no compensada (α_{nc}) debido a la insuficiencia de peralte (i).

$$\Rightarrow h + i = \frac{v^2 \cdot w}{g \cdot R} \quad (1) \rightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{h \cdot g}{w} + \frac{i \cdot g}{w} \quad (1a)$$

Siendo los términos de (1a):

$$\frac{v^2}{R} \equiv \text{aceleración lateral producida a esa velocidad}$$

$$\frac{h \cdot g}{w} \equiv \text{aceleración compensada por el peralte}$$

$$\frac{i \cdot g}{w} = \alpha_{nc} \equiv \text{aceleración no compensada}$$

Por tanto, utilizando la definición de aceleración no compensada y entrando en la ecuación (1) se calcula el radio que tendría una curva para permitir el paso a una velocidad (v), si tiene un peralte (h) y se permite una aceleración no compensada (α_{nc}), siendo las fuerzas equilibradas.

$$\Rightarrow i = \frac{\alpha_{nc} \cdot w}{g} \rightarrow \text{Entrando en (1)} \rightarrow h + \frac{\alpha_{nc} \cdot w}{g} = \frac{v^2 \cdot w}{g \cdot R} \Rightarrow R = \frac{v^2}{\alpha_{nc} + \frac{h \cdot g}{w}} \quad (2)$$

De la misma manera, dado que el radio de curvatura y el peralte vienen dados por el trazado, se calcula la velocidad máxima teórica de paso por curva para un radio, su peralte y la aceleración máxima no compensada admitida, utilizando la siguiente ecuación que se deriva de la ecuación (2):

$$v_{\max} = \sqrt{R \cdot [(\alpha_{nc})_{\max} + \frac{h \cdot g}{w}]} \quad [m/s]$$

5.2 Aceleración no compensada máxima

En la determinación del valor máximo de la aceleración no compensada, uno de los aspectos a tener en cuenta es el nivel de aceleraciones que va a experimentar el viajero.

5.2.1 Aceleraciones percibidas por el viajero

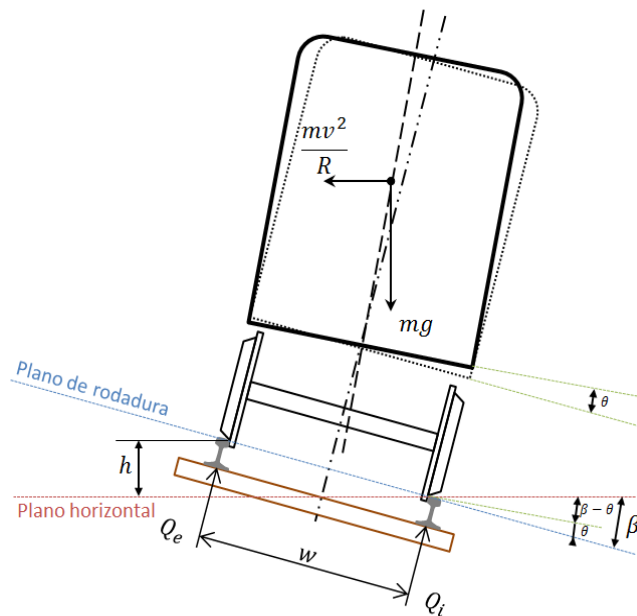


Figura 5-2: Esquema de las fuerzas actuantes sobre un coche en curva considerando el efecto de las suspensiones.
[Fuente: Elaboración propia]

A la hora de evaluar el confort de un viajero es necesario tener en cuenta las aceleraciones a la que éste está sometido. Dichas aceleraciones actúan tanto en sentido longitudinal, como transversal y vertical; sin embargo, la aceleración transversal percibida es la que ocasiona mayor incomodidad al pasajero y por ello debe ser limitada para garantizar un nivel de confort razonable.

Como se ha indicado durante el desarrollo teórico del equilibrio de fuerzas, en la sección 5.1, en curva aparece una fuerza centrífuga que

genera una aceleración transversal. Dicha aceleración es parcialmente compensada por el peralte y el resto, en caso de existir una insuficiencia de peralte, se transforma en una aceleración no compensada (α_{nc}) transversal, y referida al plano de vía, que va a afectar al confort del pasajero.

Sin embargo, para poder obtener la aceleración real que le va a llegar al pasajero, también se deberá tener en cuenta el efecto de las suspensiones del vehículo.

Por efecto de la fuerza centrífuga, la caja del vehículo se inclinará hacia el exterior de la curva por lo que la aceleración percibida por el viajero será mayor que la aceleración no compensada (α_{nc}), referida al plano de vía, antes descrita. Para incluir este efecto en el análisis de las aceleraciones percibidas por el viajero, se usará el coeficiente de flexibilidad o 'souplesse' (θ) del vehículo cuyo efecto en el esquema de fuerzas actuantes sobre el coche se puede observar en la Figura 5-2.

Teniendo en cuenta esto, la aceleración transversal que percibirá el viajero será:

$$\alpha_{viajero} = \alpha_{nc} \cdot (1 + \theta)$$

Adicionalmente, se deberían considerar las aceleraciones transversales que producen los defectos en la geometría de la vía pero debido a la menor velocidad de los sistemas tranviarios con respecto al ferrocarril convencional, donde se describe la necesidad de tener en cuenta estas aceleraciones, se va considerar una aceleración despreciable y, por tanto, no se tendrá en cuenta en ninguno de los cálculos de este documento.

Para poder establecer un criterio sobre las aceleraciones transversal máximas y las aceleraciones totales que sufre el viajero sin que el nivel de confort se vea perjudicado, se han consultado las recomendaciones realizadas por dos organismos independientes entre ellos, el Consorcio Regional de Transportes de Madrid (CRTM) y el Transit Cooperative Research Program (TCRP) auspiciado por la Federal Transit Administration de los Estados Unidos.

Tabla 5-1: Valores recomendados de aceleración no compensada (α_{nc}) máxima en los criterios de diseño consultados.

Fuente	Parámetro	Valor normal	Valor límite
CRTM	Aceleración transversal	0.65 – 0.7 m/s^2	1 m/s^2
TCRP	Aceleración transversal	-	0.1 · g = 0.98 m/s^2

Dichas recomendaciones, resumidas en la Tabla 5-1, muestran las aceleraciones referidas al plano de vía y, por tanto, no tienen en cuenta el efecto de las suspensiones del vehículo. Dado que lo que interesa es la aceleración total sobre el pasajero, que nos da el nivel de confort, se usará el siguiente criterio, resumido en la Tabla 5-2, que viene derivado de la experiencia francesa.

Tabla 5-2: Valores recomendados para la aceleración total sobre el viajero y su efecto sobre el nivel de comodidad [Fuente: López Pita, 2006]

Nivel de comodidad	Aceleraciones totales sobre el viajero [m/s^2]	
	Sentado	De pie
Muy bueno	1.0	0.85
Bueno	1.2	1.0
Aceptable	1.4	1.2
Excepcionalmente aceptable	1.5	1.4

De las características del material móvil, Alstom CITADIS 302, se obtiene que su coeficiente de flexibilidad o 'souplesse' es igual a 0.148. Por lo tanto, usando la ecuación anteriormente definida, que relaciona la aceleración total sobre el viajero con la aceleración no compensada transversal y el coeficiente de flexibilidad del material móvil, se puede transformar la Tabla 5-2 para que relacione el nivel de comodidad con el valor de aceleración no compensada (α_{nc}). La Tabla 5-3, muestra los valores obtenidos.

Tabla 5-3: Valores recomendados para la aceleración no compensada (α_{nc}) y su efecto sobre el nivel de comodidad para el pasajero teniendo en cuenta el coef. de flexibilidad o 'souplesse' del CITADIS 302. [Fuente: Elaboración propia]

Nivel de comodidad	Aceleración no compensada (α_{nc}) [m/s^2]	
	Sentado	De pie
Muy bueno	0.87	0.74
Bueno	1.05	0.87
Aceptable	1.22	1.05
Excepcionalmente aceptable	1.31	1.22

5.3 Limitación de velocidad en curvas de transición

Para evitar la aparición brusca de los efectos negativos que generan las alineaciones curvas, se emplean curvas de transición entre alineaciones rectas y curvas; esto lleva a una transición más suave y a una deseable variación gradual de los efectos de la fuerza centrífuga.

Para evaluar que las curvas de transición poseen la longitud adecuada y la velocidad máxima permitida en dichos tramos, se han de cumplir las siguientes restricciones: geométrica, dinámica y, de confort y seguridad en curva.

Tabla 5-4: Criterios de diseño establecidos por MINTRA para las líneas de MLO en curvas de transición.

Limitación	Valor
Geométrica	$\frac{dz}{ds} \leq 2 \text{ mm/m}$
Dinámica	$\frac{dz}{dt} \leq 35 \text{ mm/s}$
De confort y seguridad en curva	$\frac{dl}{dt} \leq 35 \text{ mm/s}$

5.3.1 Limitación geométrica

La limitación geométrica, como su propio nombre indica, es una mera condición geométrica del trazado y que, por tanto, no limita la velocidad de paso.

Esta limitación lo que busca es restringir la variación de peralte con respecto a la longitud de curva de transición para que el alabeo sea moderado y evitar las sobrecargas, y descargas, que puedan influir en la estabilidad de la circulación y en los descarrilamientos.

A pesar de que el trazado viene dado, y por tanto no es modificable, se ha comprobado que dicha limitación cumple los valores de diseño definidos en la Tabla 5-4 en todos los puntos del trazado.

$$\frac{dz}{ds} \leq 2 \text{ mm/m}$$

5.3.2 Limitación dinámica

La limitación dinámica busca restringir la velocidad de cambio de peralte para dar tiempo a los resortes del vehículo a adaptarse a la vía. Aplicando los valores de diseño definidos en la Tabla 5-4, aparece la siguiente condición:

$$\begin{aligned} \frac{dz}{dt} \approx \frac{h}{t} \rightarrow \frac{dz}{dt} \approx \frac{h}{t} \cdot \frac{v}{v} &= \frac{h}{t} \cdot \frac{v}{\frac{L}{t}} = \frac{h \cdot v}{L} \leq 35 \text{ mm/s} \\ \Rightarrow v_{\text{máx}} &\leq \frac{L}{h} \cdot 35 \text{ mm/s} \end{aligned}$$

5.3.3 Limitación de confort y seguridad en curva

La limitación de confort y seguridad en curva busca limitar, en las rampas de transición, la variación de la aceleración no compensada teórica por razones de confort. Aplicando los valores de diseño definidos en la Tabla 5-4, aparece la siguiente condición:

$$\frac{dI}{dt} \approx \frac{h}{t} \rightarrow \frac{dz}{dt} \approx \frac{h}{t} \cdot \frac{v}{v} = \frac{h}{t} \cdot \frac{v}{\frac{L}{t}} = \frac{h \cdot v}{L} \leq 35 \text{ mm/s}$$

$$\Rightarrow v_{\text{máx}} \leq \frac{L \cdot g}{\alpha_{nc} \cdot w} \cdot 35 \text{ mm/s}$$

5.4 Limitación de la variación de la aceleración centrífuga sin compensar con respecto al tiempo

Otro aspecto que también afecta al nivel de confort del viajero es la variación de aceleración transversal o 'jerk' dado que el viajero percibe un cambio brusco de la aceleración que está sufriendo en alineación recta, cuyo valor es función de la calidad de la vía pero en todo caso reducida, a valores de aceleración transversal como los indicados anteriormente. Por esta razón, la variación de aceleración transversal se limita para mitigar este efecto.

La mayor parte de la bibliografía consultada coincide en que dicho valor debería estar limitado a 0.4 m/s^3 pero sin existir una justificación técnica sobre la obtención de dicho valor. En la Tabla 5-5 se recoge un criterio sobre el efecto de la variación de la aceleración sin compensar, y su efecto sobre el nivel de comodidad del pasajero, basado en la experiencia. Este criterio muestra que un valor de 0.4 m/s^3 correspondería a un nivel de comodidad entre bueno y muy bueno.

Tabla 5-5: Criterio de variación de la aceleración sin compensar respecto al tiempo y su efecto sobre el nivel de comodidad [Fuente: López Pita, 2006]

Nivel de comodidad	Variación de la aceleración sin compensar [m/s^3]
Muy bueno	0.30
Bueno	0.45
Aceptable	0.70
Excepcionalmente aceptable	0.85

Definiendo la variación de la aceleración sin compensar como ψ , se debe de cumplir lo siguiente:

$$v_{\text{máx}} \leq \sqrt[3]{\psi \cdot L \cdot R} [\text{m/s}]$$

6 Cálculo de velocidades máximas

Una vez definido el trazado y establecida la base teórica para el cálculo de las diferentes limitaciones de velocidad en función del tipo de tramo, se procede al cálculo de las velocidades máximas. Para ello, se calculan los diferentes valores máximos de velocidad en cada tramo usando las limitaciones antes definidas. Posteriormente, se selecciona la condición más restrictiva dando respuesta al objetivo marcado en la FASE 2 del proyecto definido en el apartado 2.

Como se ha explicado en el apartado 5, los criterios de diseño utilizan los valores de aceleración sin compensar (α_{nc}) y la variación de aceleración transversal para el cálculo de la velocidad máxima. Estos valores pueden moverse dentro de un rango en función de la comodidad del viajero y siempre que no excedan unos valores límite.

6.1 Criterios de diseño establecidos para MLO

Durante la fase de diseño del trazado de las líneas de MLO, MINTRA estableció los siguientes criterios de diseño en lo referente a aceleraciones, coherentes con los definidos en el Pliego para la adquisición de material móvil que fue redactado por Metro de Madrid, y resumidos en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Criterios de diseño establecidos por MINTRA para las líneas de MLO en lo referente a aceleraciones transversales.

Parámetro	Valor máximo
Aceleración sin compensar (α_{nc})	0.65 m/s^2
Variación de aceleración transversal o jerk	0.4 m/s^3

Estos criterios de diseño permiten obtener un nivel de comodidad, usando los valores recomendados establecidos en las Tabla 5-3 y Tabla 5-5, **bueno** para los viajeros.

6.2 Criterios de cálculo para la definición del nuevo perfil de velocidades

A pesar de que el trazado fue diseñado siguiendo los criterios establecidos por MINTRA, se observa que esos valores penalizarían mucho la velocidad máxima que se puede alcanzar en ciertos tramos y que, en algunos puntos, el actual límite de velocidad no los cumple.

Para permitir minimizar los tiempos de viaje, y tener una visión más exacta de hasta donde se podrían elevar los límites de velocidad sin detrimento de la seguridad, se calculan las velocidades máximas por tramo para diferentes niveles de comodidad que experimentará el viajero, usando los valores recomendados establecidos en las Tabla 5-3 y Tabla 5-5.

Para ello se definen los siguientes criterios de cálculo:

Tabla 6-2: Criterios de cálculo establecidos para obtener las velocidades máximas por tramo.
[Fuente: Elaboración propia]

Nivel de comodidad	Aceleración sin compensar (α_{nc})	Variación de aceleración transversal o jerk
Bueno	0.65 m/s^2	0.4 m/s^3
Aceptable	0.825 m/s^2	0.625 m/s^3
Excepcionalmente Aceptable	1.00 m/s^2	0.85 m/s^3

En el Anexo 2, se muestran las velocidades máximas calculadas por tramo para un nivel de comodidad bueno, que coincide con los criterios de diseño establecidos por MINTRA.

6.3 Otras restricciones de velocidad a tener en cuenta

6.3.1 Limitación de velocidad en alineaciones rectas entre curvas en S sin curva de transición

El establecimiento de longitudes mínimas en alineaciones rectas entre curvas en S tiene como objetivo la reducción de los movimientos de vaivén. Dichos movimientos penalizan el nivel de confort del viajero.

Sin embargo, y debido a las limitaciones de espacio existentes en los sistemas tranviarios, la aplicación de esta longitud mínima no es siempre posible. Por ello, aparecen alineaciones rectas entre curvas en S sin curva de transición como las representadas en la Figura 6-1.

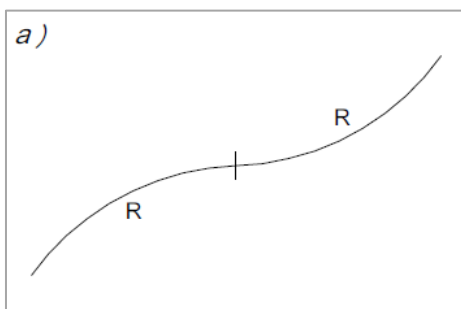


Figura 6-1: Esquema de alineación recta entre curvas en S sin curva de transición. [Fuente: Andrés Hilarión, 2010]

Para una curva dada, se puede prever con facilidad el movimiento que hará el vehículo. Desafortunadamente, en este caso de curva en S sin curva de transición, como el de la Ilustración 6-1, el comportamiento del vehículo es más incierto. Por esta razón, y para paliar las incomodidades que surgen en el viajero, la bibliografía consultada recomienda aplicar un límite de 20 km/h en estos tramos pero sin definir condiciones de aplicación.

Basándose en la experiencia, y para evitar penalizaciones excesivas en los tiempos de viaje, se decide aplicar esta limitación sólo en aquellas curvas en S donde, al menos, una de las curvas posea radio menor a 80 metros.



Ilustración 6-1: Curva en S existente en ML3 entre las paradas de Boadilla Centro y Nuevo Mundo
[Fuente: Elaboración propia]

6.3.2 Limitaciones de velocidad impuestas por el Reglamento de Circulación

En el Reglamento de Circulación de MLO se establecen los siguientes límites de velocidad de circulación, independientes de la limitación de velocidad definida por el trazado. Además, se establece que la limitación de velocidad indicada por la señalización fija son velocidades máximas que nunca deben de ser superadas; los conductores deben de adaptar la velocidad del vehículo para que la velocidad de circulación no sea superior a la indicada en la señal, en el momento de su rebase por la cabina en servicio.

En la Tabla 16-1, del Anexo 3, se presenta un extracto de las velocidades máximas establecidas en el Reglamento de Circulación para diversas situaciones operacionales independientes de los límites de velocidad de trazado, indicadas en la señalización fija.

Además, se han identificado y aplicado las siguientes restricciones de velocidad en los tramos afectados por las siguientes singularidades del trazado:

Entrada y salida de una estación/parada

Se establece una limitación de 30 km/h en las estaciones y todas las paradas repartidas por el trazado. La limitación se aplica dentro de los 50 metros anteriores y 20 metros posteriores al P.K. donde se encuentra la línea de parada.

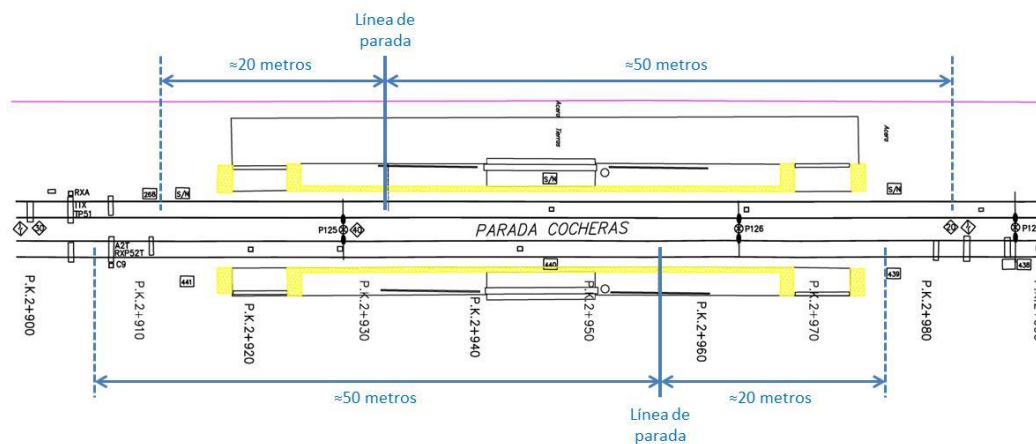


Figura 6-2: Esquema de parada con las distancias a las que se aplicara la limitación de velocidad.
[Fuente: Elaboración propia]

Paso por aguja

Se establece una limitación de velocidad para el paso por aguja. Dicha limitación es dependiente de cómo se aborde la aguja en vía directa:

- Paso por una aguja en vía directa abordada por el talón: 40 km/h
- Paso por una aguja en vía directa abordada por la punta: 30 km/h

Dicha limitación se ha establecido que comience en el P.K. donde se encuentra la aguja y no se elimine hasta que no pasen 32 metros. Esto se ha realizado así para asegurar que el vehículo, en su totalidad, haya salido de la aguja.

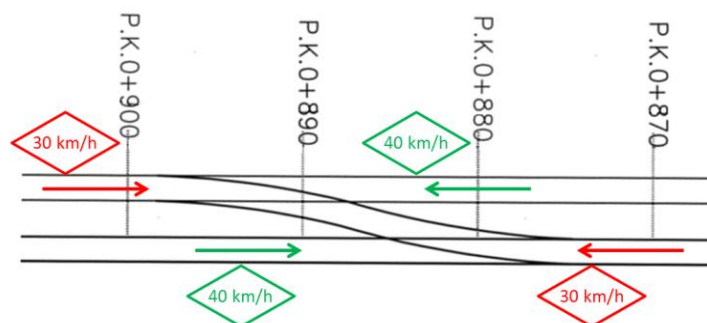


Figura 6-3: Esquema de la aplicación de los límites de velocidad de paso por aguja en función del sentido de marcha. [Fuente: Elaboración propia]

No se han considerado las limitaciones de velocidad para el paso por aguja por vía desviada puesto que dicha limitación sólo se da en determinadas circunstancias, y puntos particulares del trazado, por motivos operacionales.

Zona urbana

En aquellas zonas donde el trazado discorra por zona urbana, compartiendo plataforma con otros vehículos y/o con pasos de peatones sin aviso de aproximación de Metros Ligeros, se establece una limitación de velocidad de 40 km/h. La Tabla 6-3 enumera las zonas identificadas por los Responsables de Línea como zonas urbanas.



Ilustración 6-2: Plataforma urbana por Boadilla del Monte en ML3. [Fuente: <http://www.ohlconcesiones.com>]

Zona peatonal

En aquellas zonas donde el trazado discorra por zona peatonal, compartiendo plataforma con peatones que puedan encontrarse a menos de 2 metros del Gálbo Libre de Obstáculos (GLO) del Metro Ligero, se establece una limitación de velocidad de 20 km/h. La Tabla 6-3 enumera las zonas identificadas por los Responsables de Línea como zonas peatonales.



Ilustración 6-3: Plataforma peatonal en las cercanías de la parada de Ciudad del Cine en ML3.
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

Tabla 6-3: Zonas donde aplica una limitación de velocidad por discurrir la línea por trazado peatonal/urbano.
[Fuente: Elaboración propia]

P.K. Inicio	P.K. Fin	Tipo de zona	Limitación velocidad	Línea
1,830	2,280 ¹	Peatonal	20 km/h	ML3
2,280 ¹	2,450	Urbana	40 km/h	ML3
6,340	7,640	Urbana	40 km/h	ML3
10,160	12,290	Urbana	40 km/h	ML3
12,460	Fin de línea	Urbana	40 km/h	ML3

6.4 Revisión del perfil de velocidades obtenido

Con las restricciones obtenidas anteriormente, se genera un primer perfil. En el mismo, se observa la existencia de zonas de escasa longitud donde se obligaría a una reducción de velocidad que penalizaría el tiempo de viaje. Para evitar esta situación, se decide realizar un filtrado de picos de velocidad en base a la longitud del tramo.

El criterio empleado ha sido el de filtrar todos aquellos tramos de longitud menor a 12.74 metros. Esta longitud es la distancia en la que dos bogies completos estarían siendo afectados simultáneamente por un determinado tramo, véase Figura 21-1 en el Anexo 8. Por tanto, para longitudes de tramo menores, solo un bogie completo estaría siendo afectado por esa restricción. Se considera que dicha situación no afecta a la seguridad ni al confort del viajero.

¹ Se ha solicitado una revisión de la zona catalogada como peatonal para reducir su extensión y que pase a ser catalogada como zona urbana. Dicha solicitud ha sido aprobada internamente por MLO. Por tanto, a falta de recibir la aprobación del CRTM, el nuevo perfil de velocidades propuesto tomara como P.K. final de la zona peatonal (e inicio de zona urbana) el P.K. 2,213.

7 Caracterización del material móvil utilizado en MLO

El material móvil empleado por MLO está compuesto por 27 unidades CITADIS 302 de Alstom. Dichas unidades han circulado desde el inicio de la explotación comercial en 2007.

En este apartado, que corresponde con la *FASE 3* definida en el apartado 2, se analizan las características referentes a la capacidad de aceleración y frenado por su impacto en la definición del perfil de velocidades y en los tiempos de viaje.



Ilustración 7-1: CITADIS 302 de Alstom entrando en la parada de Ciudad del Cine (Línea ML3)
[Fuente: <http://www.metroligero-oeste.es>]

Se ha de resaltar que en este estudio no se realizará un análisis de la interacción rueda-carril, y el consiguiente estudio de descarrilo, debido a la complejidad de dicho análisis. Las fuentes y bibliografía consultadas garantizan que no se producirá descarrilo siempre que no se excedan los valores límite de aceleración no compensada máxima usadas en el cálculo de las velocidades máximas por tramo, definidas en el apartado 5.2.

7.1 Capacidad de aceleración/deceleración

Para la correcta definición del perfil de velocidades, se considerarán las capacidades de aceleración/deceleración del material móvil. Estas características se tendrán en cuenta para la correcta identificación de los puntos de frenado, la definición de límites de velocidad alcanzables en la distancia disponible y el análisis de la variación de aceleración longitudinal.

7.1.1 Pruebas de frenado máximo de servicio

Los valores teóricos declarados en la documentación facilitada por Alstom son los siguientes:

- Manual de Funcionamiento Tracción/Freno: -1.25 m/s^2 .
- Manual de Conducción: -1.6 m/s^2 .

Ante las discrepancias encontradas en la documentación de Alstom referentes a la capacidad de deceleración mediante el uso del Freno Máximo de Servicio, se realizaron pruebas de frenado sobre un tercio de la flota para obtener un valor representativo de la capacidad actual de deceleración del CITADIS 302.

Las pruebas consistieron en la salida a vía de pruebas, véase Ilustración 7-2, y la realización de las mismas siguiendo el procedimiento establecido para la prueba de equipos de freno tras labores de mantenimiento. Dicho procedimiento consta de las siguientes fases: aceleración del vehículo a 40 ± 2 km/h, colocación del manipulador en posición neutra durante ≈ 2 segundos para posteriormente aplicar Freno Máximo de Servicio.

Se realizaron un mínimo de cuatro pasadas por vehículo, dos en cada sentido, para eliminar la variabilidad en la capacidad de frenado debido al estado de la vía de pruebas. También se evitó el uso de unidades con numeración consecutiva puesto que las unidades de la 101 a la 109, por ser unidades DILAX, son aquellas que hacen mayor número de kilómetros y, a priori, pueden tener el equipo de freno más degradado.



Ilustración 7-2: Detalle de la vía de pruebas disponible en el recinto de Talleres y Cocheras de MLO.
[Fuente: Elaboración propia]

Tras la realización de dichas pruebas, y con los datos obtenidos, se calcula la deceleración media con su desviación estándar. En el Anexo 4, Tabla 17-1, se muestra en detalle los datos obtenidos durante las pruebas y que se usan para el cálculo de las deceleraciones. Por otro lado, en la Tabla 7-1 se muestra un resumen de las deceleraciones medias de cada una de las unidades usadas durante las pruebas y del total de la muestra.

Tabla 7-1: Deceleración media obtenida para cada unidad durante pruebas de frenado.

Unidad	Deceleración media [m/s^2]	Desviación estándar de la desaceleración [m/s^2]
101	-1.45	0.07
106	-1.41	0.11
107	-1.31	0.05
110	-1.40	0.06
117	-1.41	0.08
120	-1.51	0.08
123	-1.48	0.10
122	-1.49	0.02
Total	-1.44	0.09

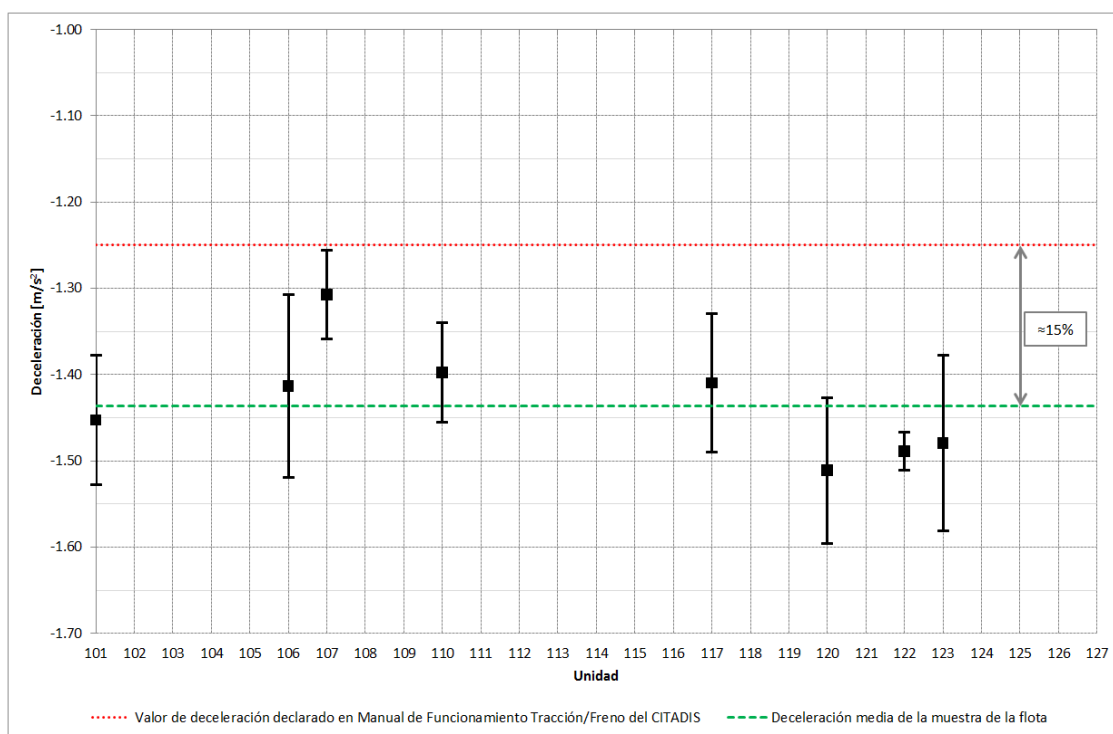


Gráfico 7-1: Deceleraciones medias derivadas de mediciones tomadas en vía de pruebas.

Como se observa en la Tabla 7-1 y en el Gráfico 7-1, la deceleración media de la muestra de la flota es de $\approx -1.44 \text{ m/s}^2$. Esto implica que la capacidad de frenado de la flota es aproximadamente un 15% mayor a lo declarado en el Manual de Funcionamiento Tracción-Freno, y que se encuentra muy por debajo de los valores declarados en el Manual de Conducción.

A pesar de estos valores de deceleración, y debido a la variabilidad de los datos, resulta razonable que se tome a partir de ahora el valor de deceleración de FMS como -1.25 m/s^2 , valor definido en el Manual de Funcionamiento Tracción/Freno.

7.1.2 Análisis de deceleraciones en servicio comercial

Una vez comprobada la capacidad del freno máximo de servicio (FMS) del material móvil, se procedió a analizar las deceleraciones que se dan en servicio comercial. Este análisis se justifica especialmente por las limitaciones que tienen los conductores para aplicar FMS. Dichas limitaciones provienen de la cercanía en el manipulador de la posición de Freno de Urgencia (FU) a la de FMS, como se puede apreciar en la Ilustración 7-3.

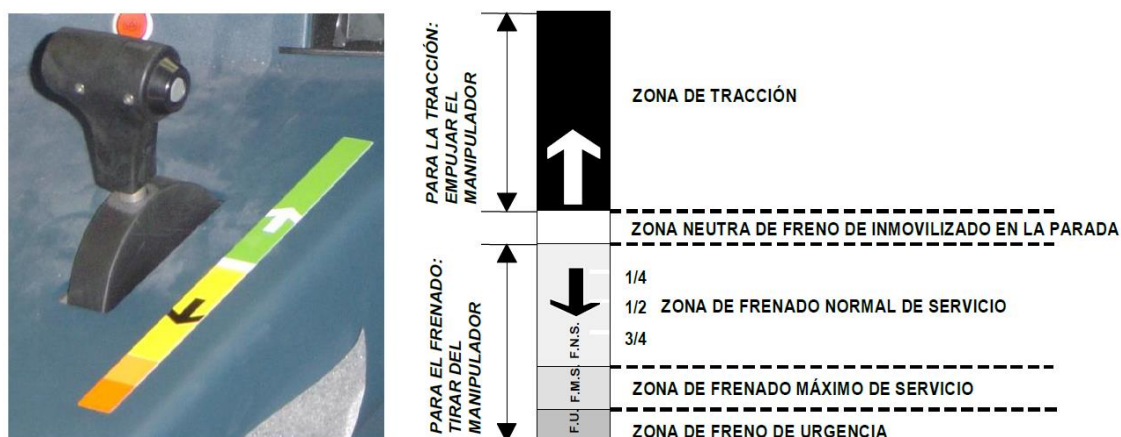


Ilustración 7-3: Detalle del manipulador presente en la cabina de conducción del tranvía CITADIS 302 de MLO con sus diferentes posiciones. [Fuente: Metro Ligero Oeste]

Por ello, para obtener una visión más representativa de las deceleraciones medias que se producen en servicio comercial, y que permitirán una definición más realista de los puntos de frenado, se realizó un análisis de los datos tomados por el registrador jurídico (*DEUTA*) para diferentes unidades y diferentes conductores.

Para dicho análisis, se aplicaron los siguientes criterios en los datos solicitados a los Responsables de Línea:

- La muestra tenía que ser representativa del total de conductores para poder considerar diferentes estilos de conducción.
- Se buscaron puntos de frenada donde existiera un gradiente de velocidad elevado. Por ello, se consensuó con los Responsables de Línea analizar los siguientes puntos de frenada:

Punto de frenada	Línea	Desde	Tramo Hasta	Velocidad Inicial	Velocidad Final
A	ML3	Retamares [RTM]	Cocheras [MLO]	70 km/h	30 km/h
B	ML3	Cantabria [CTB]	Ferial de Boadilla [FBO]	50 km/h	20 km/h
C	ML2	Bélgica [BLG]	Pozuelo Oeste [PZO]	70 km/h	30 km/h

Como se observa en el Gráfico 7-2, existe una gran variabilidad en los datos de deceleración y no se ha encontrado ninguna correlación que la justifique. En un primer momento, se pensó que la variabilidad pudiera provenir de la hora a la que se producía la circulación (hora punta u hora valle) pero no se encontraron evidencias que lo justifiquen. Por otra parte, como se puede deducir de las pruebas de FMS (Gráfico 7-1), no existe una diferencia de capacidad de frenado entre diferentes unidades que lo justifique. Por ello, se deduce que dicha variabilidad proviene de los diferentes estilos de conducción de cada conductor.

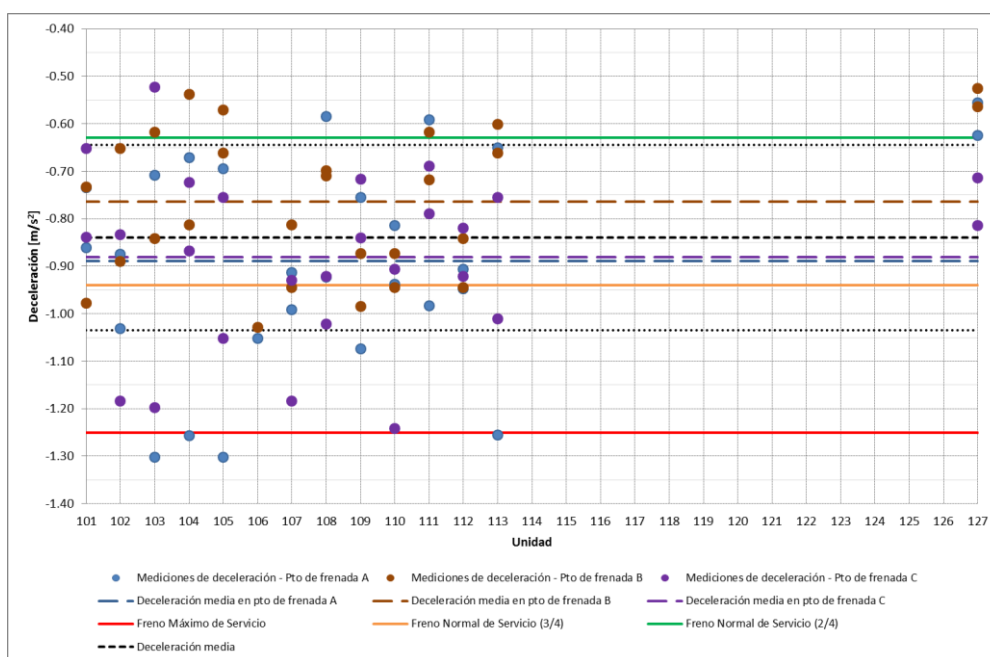


Gráfico 7-2: Datos de deceleración en servicio comercial.

En el Gráfico 7-2, se ha representado con una línea roja la deceleración teórica del FMS y en relación a ella se han representado los valores de deceleración teóricos para posiciones de manipulador en Freno Normal de Servicio (FNS) para 3/4 y 2/4 del FMS, líneas naranja y verde respectivamente. De aquí se puede deducir que usar como hipótesis que los conductores utilizan el FNS, colocando el manipulador en una posición a 3/4 del FMS, es suficientemente representativo del estilo de conducción en servicio comercial.

En el estudio teórico para elaborar la primera propuesta de perfil de velocidades, se utilizó un valor de deceleración de -0.94 m/s^2 , dicho valor corresponde a la deceleración teórica que se obtendría aplicando 3/4 del FMS.

7.1.3 Análisis de aceleraciones en servicio comercial

Del mismo modo que se analizaron las deceleraciones en servicio comercial, se procedió a analizar las aceleraciones. En este caso, y de manera similar a lo que ocurría con el sistema de frenado, en la documentación proporcionada por Alstom sobre los datos de rendimiento del CITADIS con dos bogies motores aparecen dos valores de aceleración media en función del rango de velocidades donde se produce:

- Aceleración media entre 0 y 70 km/h: $0,69 \text{ m/s}^2$.
- Aceleración media entre 0 y 40 km/h: $1,10 \text{ m/s}^2$.

Debido a esto, se decidió realizar un análisis de los datos tomados por el registrador jurídico (DEUTA) para diferentes unidades y diferentes conductores. Esto permitirá obtener una visión más representativa de las aceleraciones medias que se producen en servicio comercial, y tener una definición más realista de las curvas de aceleración.

Para dicho análisis, se aplicaron los siguientes criterios en los datos solicitados a los Responsables de Línea:

- La muestra tenía que ser representativa del total de conductores para poder considerar diferentes estilos de conducción.
- Se buscaron puntos de aceleración donde existiera un gradiente de velocidad elevado y uno de los casos fuera una aceleración desde parado. Por ello, se consensuó con los Responsables de Línea analizar los siguientes puntos de aceleración:

Punto de aceleración	Línea	Tramo Desde	Hasta	Velocidad Inicial	Velocidad Final
D	ML3	Colonia Jardín [ECJ]	Ciudad de la Imagen [CIM]	30 km/h	70 km/h
E	ML3	Ciudad de la Imagen [CIM]	José Isbert [JIS]	0 km/h	50 km/h

Como se observa en el Gráfico 7-3, existe una cierta variabilidad en los resultados de aceleración desde parado (Pto. de aceleración E). Esto se justifica por las precauciones que deben de tomar los conductores al arrancar en las paradas debido a la presencia de pasajeros u otros vehículos en la vía adyacente.

Por otro lado, las aceleraciones en marcha son más consistentes y concuerdan con las proporcionadas por Alstom.

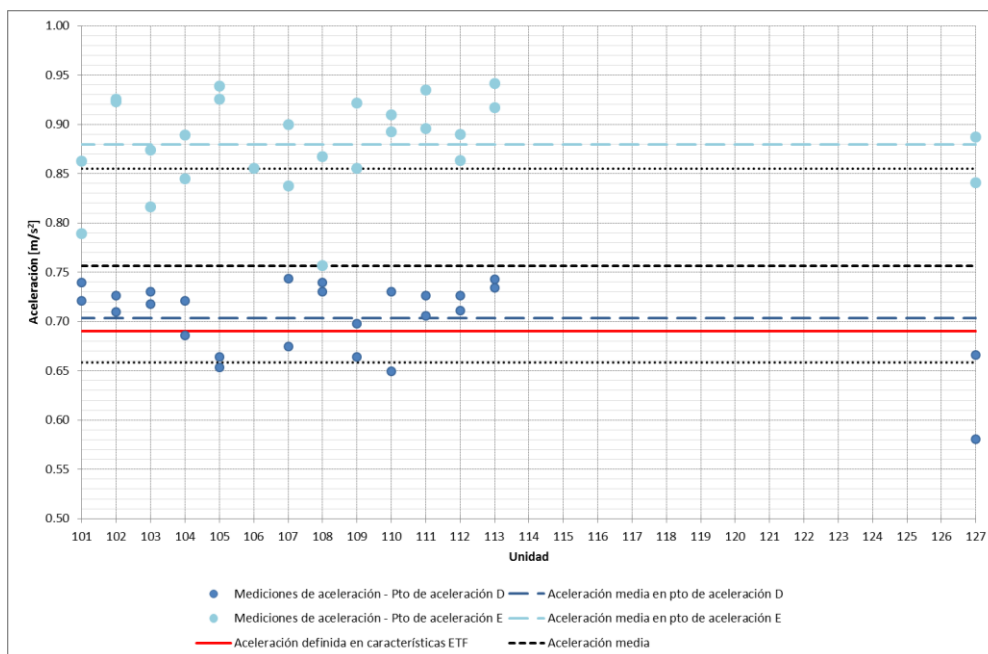


Gráfico 7-3: Datos de aceleración en servicio comercial.

A la vista de estos resultados, se ha decidido asumir un valor de aceleración de 0.69 m/s^2 , ya que se considera un valor más conservador, para la definición de las curvas de aceleración usadas en la elaboración de la nueva propuesta de perfil de velocidades.

7.1.4 Valores de aceleración/deceleración usados para la definición del nuevo perfil

Una vez finalizado el análisis, los valores de aceleración/deceleración definidos para vehículos en servicio comercial y resumidos en la Tabla 7-2, se utilizarán en el apartado 9 para generar un nuevo perfil de velocidades teórico.

Tabla 7-2: Resumen de los valores usados en la definición de las curvas de aceleración/deceleración.
[Fuente: Elaboración propia]

	Valor	Observación
<i>Aceleración</i>	0.69 m/s^2	Valor más conservador para la definición de las curvas de la aceleración.
<i>Deceleración</i>	-0.94 m/s^2	Valor correspondiente a la deceleración teórica que se obtendría aplicando 3/4 del FMS.

8 Auditoria del perfil actual de velocidades

Una vez calculadas las velocidades máximas por tramo, según los criterios establecidos en el apartado 6, se procede a compararlas con el actual perfil de velocidades. Mediante dicha comparación se identifican aquellas zonas que requieren una obligada revisión, independientemente de que se implemente el nuevo perfil de velocidades propuesto en el apartado 9, por exceder los parámetros admisibles de confort y seguridad.

Este apartado da respuesta al primer objetivo marcado para este trabajo, la realización de un análisis del actual perfil de velocidades usado por MLO.

El proceso para realizar la auditoria es el de generar tres perfiles con las velocidades máximas por tramo para los siguientes niveles de confort de pasajero², según criterio definido en el apartado 6.2:

- Bueno - Perfil color verde
- Aceptable - Perfil color amarillo
- Excepcionalmente aceptable - Perfil color rojo



Figura 8-1: Comparación de los perfiles de velocidad máximo con el perfil actual.

Una vez generados dichos perfiles, estos son comparados con el perfil actual de velocidades para identificar los puntos donde se supera el perfil rojo, nivel de confort excepcionalmente aceptable para el viajero. La Figura 8-1 muestra un ejemplo de cómo se realiza dicha

² Dichos perfiles incluyen también las consideraciones definidas en el apartado 6.3, 'Otras restricciones de velocidad a tener en cuenta'

comparación. Los puntos identificados se analizan para generar un informe detallado, el cual se ha incluido en el Anexo 5. A continuación, se incluye un resumen de dicho informe con los cambios propuestos.

8.1 Zonas de obligada revisión del límite de velocidades

Para cada una de las zonas identificadas donde se requiere una revisión del límite de velocidades, se estudian las razones que llevan a modificar el límite de velocidad y una recomendación del P.K. donde se debería colocar las placas de límite de velocidad para cumplir con los criterios establecidos.

Las siguientes tablas, resumen los cambios recomendados en el actual perfil de velocidades así como el tipo de cambio. Dichos cambios pueden ser de tres tipos:

- Desplazar la actual limitación.
- Aplicar una restricción de velocidad sobre el actual perfil.
- Realizar ambos cambios a la vez.

Así mismo se incluye, en aquellos cambios donde se considera necesario, una explicación de la razón que lleva a recomendar dicho cambio o más detalles sobre la aplicación del mismo.

8.1.1 Resumen de cambios recomendados en ML2

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. actual	Nuevo P.K.	Límite de velocidad actual	Nuevo límite de velocidad	Observaciones
		Pos.	Veloc.					
1	1	✓	✗	8,542	8,528.0	40 km/h	-	Proteger aguja 13-EA
	2	✓	✓	-	4,272.5	70 km/h	50 km/h	-
	3	✓	✗	3,522.25	3,530.0	30 km/h	-	Proteger aguja 3-SS
	4	✓	✗	2,910	2,916.5	30 km/h	-	-
	5	✓	✗	2,650	2,622.0	35 km/h	-	-
	6	✓	✗	1,464.8	1,476.8	15 km/h	-	-
	7	✓	✗	785.9	780.0	45 km/h	-	Proteger aguja 13-CJ
2	8	✗	✓	87.0	-	30 km/h	20 km/h	-
		✓	✗	87.0	114.0	30 km/h	-	-
	9	✓	✗	290.1	306.0	45 km/h	-	Proteger aguja 10-CJ
	10	✓	✗	852.9	837.0	30 km/h	-	Proteger aguja 14-CJ
	11	✓	✗	1,127.2	1,147.0	50 km/h	-	-
	12	✓	✗	2,911.3	2,916.5	50 km/h	-	-
	13	✓	✗	6,500.0	6,493.5	30 km/h	-	-
	14	✓	✗	7,240.0	7,236.0	15 km/h	-	-
	15	✓	✗	8,376.7	8,385.0	40 km/h	-	Proteger aguja 8-EA

8.1.2 Resumen de cambios recomendados en ML3

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. actual	Nuevo P.K.	Límite de velocidad actual	Nuevo límite de velocidad	Observaciones
		Pos.	Veloc.					
1	1	✓	✓	-	12,886.0	30 km/h	20 km/h	Hasta P.K. 12,858.0
	2	✓	✗	12,573.0	12,580.0	30 km/h	-	Proteger aguja 5-PB
	3	✗	✗	11,874.4	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	4	✓	✓	-	9,810.2	50 km/h	40 km/h	Hasta P.K. 9,733.9
		✓	✗	9,728.0	9,733.9	20 km/h	-	-
	5	✗	✗	9,339.4	-	60 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	6	✓	✗	6,827.0	6,816.0	40 km/h	-	-
	7	✗	✗	3,793.0	-	35 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	8	✓	✓	3,264.0	3,286.3	70 km/h	40 km/h	-
		✗	✓	3,264.0	-	30 km/h	-	Se elimina limitación
	9	✓	✓	708.7	796.0	70 km/h	50 km/h	-
		✓	✓	-	695.6	-	70 km/h	-
2	10	✗	✗	1,237.8	-	50 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	11	✗	✗	2,643.5	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	12	✗	✓	3,178.0	-	70 km/h	40 km/h	-
		✓	✓	-	3,286.3	-	70 km/h	-
	13	✗	✗	3,733.0	-	35 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	14	✓	✗	5,892.0	5,881.0	30 km/h	-	-
	15	✓	✗	6,077.0	6,908.9	50 km/h	-	Proteger aguja 8-CO
	16	✓	✗	8,054.0	8,059.0	70 km/h	-	Proteger aguja 2-PB
	17	✓	✗	9,696.0	9691.3	20 km/h	-	-
	18	✗	✓	9,753.0	-	50 km/h	40 km/h	-
		✓	✓	-	9,810.0	-	50 km/h	-
	19	✗	✗	11,813.9	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	20	✓	✓	-	12,860.0	25 km/h	20 km/h	Hasta P.K. 12,885.4

9 Nuevo perfil teórico

Una vez se ha auditado el actual perfil de velocidades, en este apartado se va a proponer un nuevo perfil que intente minimizar los tiempos de viaje. Con ello, se dará respuesta al segundo objetivo marcado en el apartado 2 tras la finalización de las tres primeras fases del proyecto.

El proceso que se va a seguir para la creación de este nuevo perfil teórico va a seguir los siguientes pasos:

- Definición del nuevo perfil usando las velocidades máximas calculadas en el apartado 6 y las curvas de aceleración/deceleración obtenidas en el apartado 7.
- Validación del perfil teórico mediante presentación de la propuesta a todas las partes involucradas y pruebas en vía.
- Realización de modificaciones en base a los resultados y sensaciones obtenidos en dichas pruebas.

9.1 Definición del nuevo perfil

Para generar un nuevo perfil, como se ha comentado en la introducción de este apartado, se parte de los tres perfiles con las velocidades máximas por tramo para los niveles de confort de pasajero³, definidos en el apartado 6.2:

- Bueno - Perfil color verde
- Aceptable - Perfil color amarillo
- Excepcionalmente aceptable - Perfil color rojo

Una vez se tienen dichos perfiles, y usando las curvas de aceleración/deceleración definidas en el apartado 7, se define la propuesta del perfil teórico que minimizaría los tiempos de viaje. La Figura 9-1 muestra un ejemplo de cómo se obtiene el nuevo perfil teórico.

Adicionalmente, para hacer la propuesta lo más confortable para el pasajero, se aplica el siguiente criterio para las transiciones entre el final de la aceleración e inicio de la frenada: el vehículo se ha de mantener a velocidad constante durante, al menos, 2 segundos.

³ Dichos perfiles incluyen también las consideraciones definidas en el apartado 6.3, '*Otras restricciones de velocidad a tener en cuenta*'

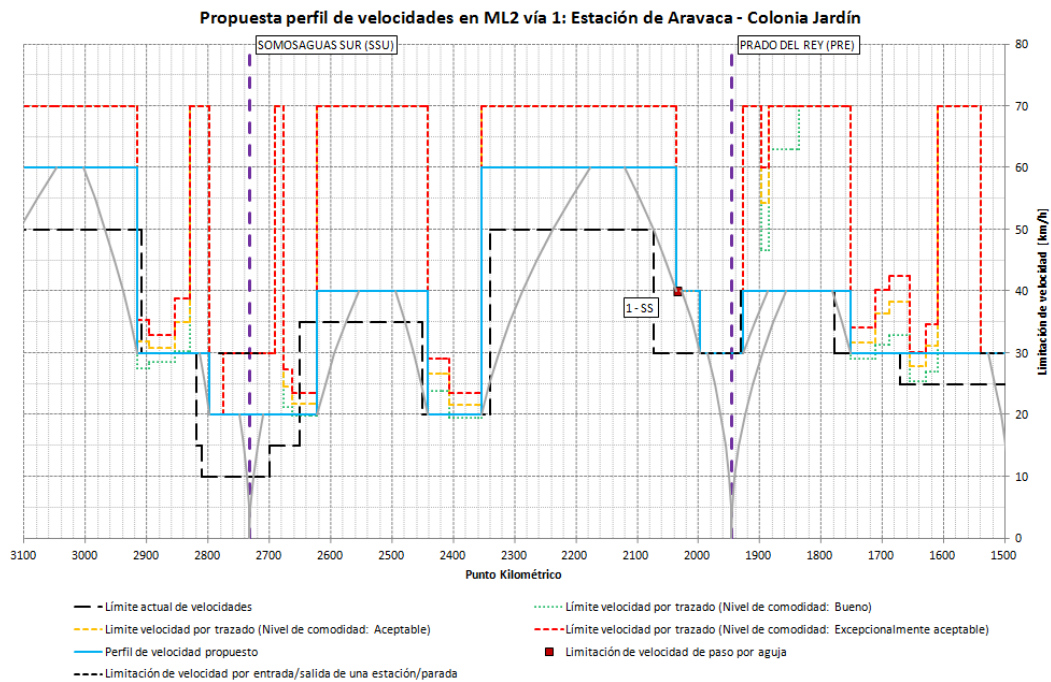


Figura 9-1: Ejemplo de definición de la propuesta de perfil teórico de velocidades usando curvas de aceleración/deceleración.

Una vez se tiene definido el nuevo perfil teórico y antes de proponer cambio alguno, o la realización de pruebas en vía, se hace una estimación del impacto en los tiempos de viaje. Esta estimación se realiza simulando un viaje comercial tanto con el perfil actual como con el propuesto. Además, tiene en consideración los tiempos debidos a la aceleración/deceleración del vehículo así como los tiempos de parada.

A continuación, de la Figura 9-2 a la Figura 9-5, se observan las simulaciones realizadas y la Tabla 9-1 muestra un resumen del impacto de tiempo de viaje que se estima con la aplicación del nuevo perfil teórico con respecto al perfil actual.

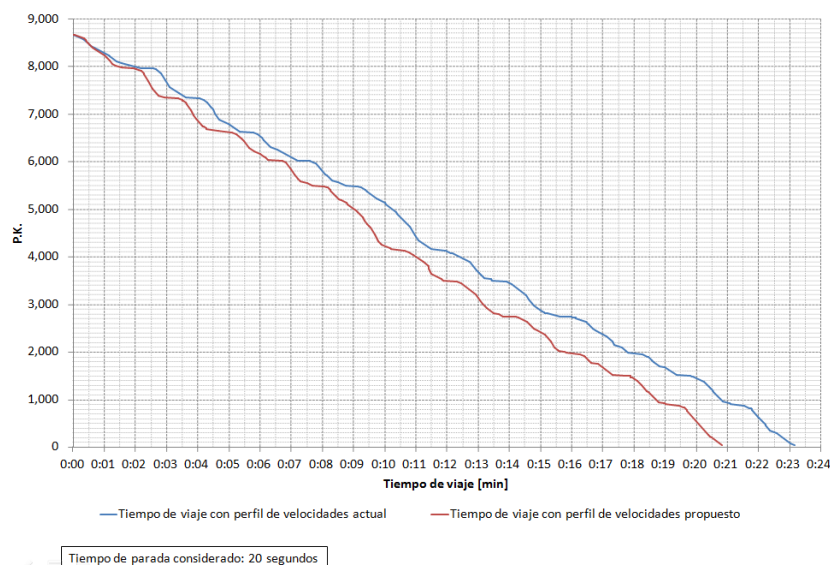
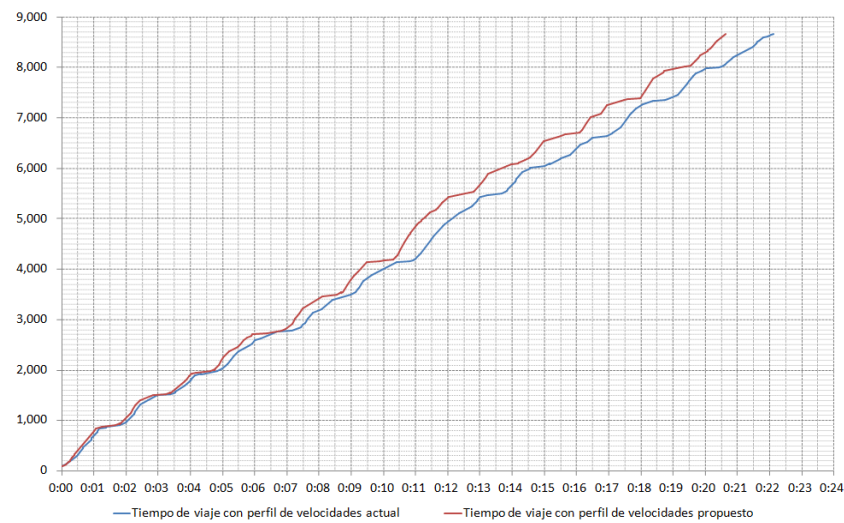
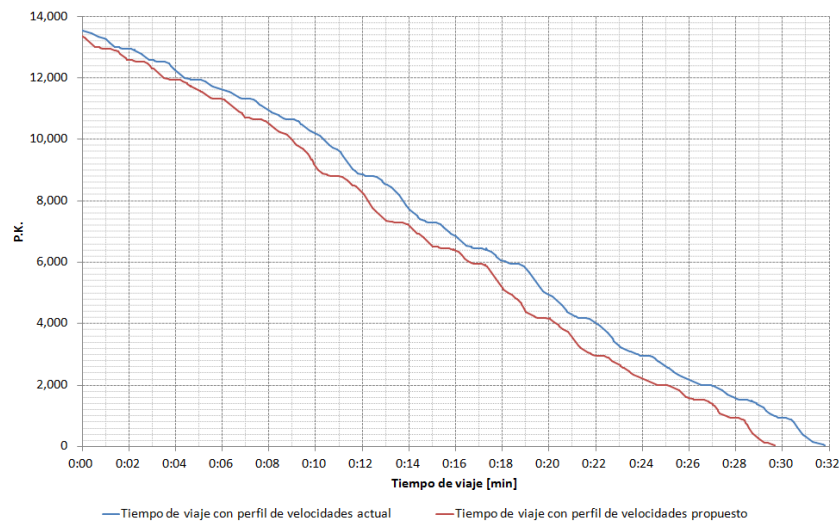


Figura 9-2: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML2 - Vía 1



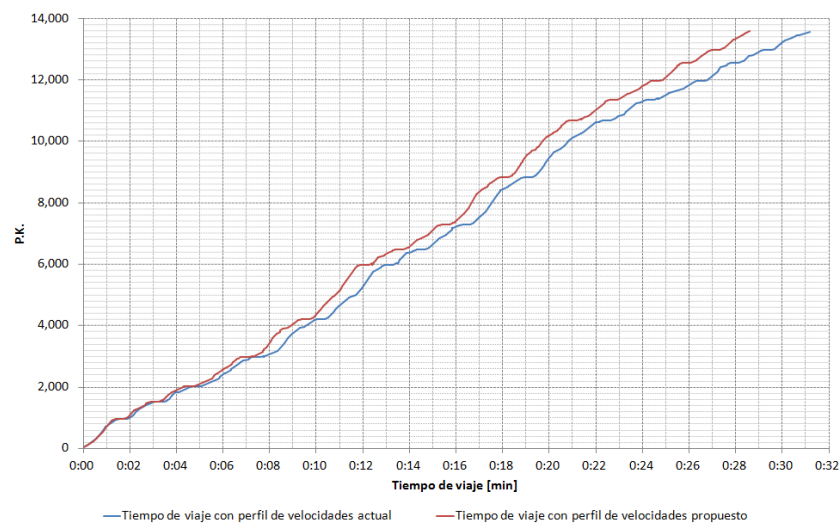
Tiempo de parada considerado: 20 segundos

Figura 9-3: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML2 - Vía 2



Tiempo de parada considerado: 20 segundos

Figura 9-4: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML3 - Vía 1



Tiempo de parada considerado: 20 segundos

Figura 9-5: Simulación impacto en tiempos de viaje en ML3 - Vía 2

Tabla 9-1: Estimación del impacto en los tiempos de viaje del nuevo perfil teórico.

		Tiempos de viaje		Impacto en tiempo de viaje
		Perfil actual	Nuevo perfil teórico	
ML2	Vía 1	≈ 23 min	≈ 21 min	≈ - 2 min
	Vía 2	≈ 22 min	≈ 21.5 min	≈ - 1.5 min
ML3	Vía 1	≈ 32 min	≈ 29.5 min	≈ - 2.5 min
	Vía 2	≈ 31 min	≈ 28.5 min	≈ - 2.5 min

Una vez se ha generado el nuevo perfil teórico, y se ha estimado el beneficio que generaría en los tiempos de viaje, el siguiente paso es la validación del mismo mediante pruebas en vía. Dicha propuesta de primer perfil teórico se puede ver en el Anexo 6.

9.2 Validación del perfil

La necesidad de validar el perfil viene dada porque el perfil teórico generado no considera posibles irregularidades en la vía, ruidos derivados del contacto rueda-carril, influencia de rampas/pendientes en las curvas de aceleración/deceleración,...

Para la validación del perfil se han seguido los siguientes pasos:

9.2.1 Propuesta del nuevo perfil teórico

Se convocó en una reunión a todas las personas involucradas en la implementación del nuevo perfil para su presentación y para comentar los nuevos cambios propuestos. Los departamentos presentes en dicha reunión fueron los de Operaciones, Seguridad, Instalaciones Fijas (IF) y Material Móvil (MM)

Durante el desarrollo de la reunión, y mediante la experiencia de los presentes en la misma, se realizó una primera serie de pequeñas modificaciones por temas de seguridad debido a visibilidad de las placas y presencia de zonas potencialmente conflictivas. Además, se tomó nota de aquellos puntos que requerirán una especial atención durante la validación del nuevo perfil.

9.2.2 Pruebas en vía

Para la realización de las pruebas en vía se tuvieron las siguientes consideraciones previas:

- En la reunión semanal de la UGZO, se informa de las pruebas en vía a realizar la semana siguiente y se solicita autorización para las mismas.
- Las pruebas se realizan con conductores experimentados y debidamente formados. Por ello, dichas pruebas se coordinan con los Responsables de Línea para que ellos puedan participar en las mismas.
- Las pruebas se hacen con el vehículo en vacío.
- El horario de las pruebas se realiza durante el periodo de hora valle de la mañana para tener una ventana suficientemente amplia entre dos vehículos en servicio comercial.
- Para poder medir el impacto en los tiempos de viaje, se realiza la apertura de puertas en todas las paradas. Debido a la hora a la que se realizan las pruebas, y para evitar que ningún pasajero que espera el siguiente vehículo en servicio comercial se puede subir, se bloquea la apertura de todas las puertas menos las localizadas al lado de la cabina en servicio. Teniendo presente las molestias que esto puede generar en los usuarios de MLO, se procede a la colocación de letreros en todas las puertas sobre el botón de solicitud de apertura de puertas con el siguiente mensaje: "SIN SERVICIO. ESTE TREN NO ADMITE PASAJEROS. VEHICULO EN PRUEBAS. Disculpe las molestias". La colocación de dicho mensaje se puede ver en la Ilustración 9-1.



Ilustración 9-1: Detalles del mensaje colocado durante las pruebas en vía en todas las puertas del vehículo.

[Fuente: Elaboración propia]

- Para las pruebas en vía, se valoró la posibilidad de instalar placas provisionales de velocidad. Sin embargo, y debido a la logística necesaria de la misma, durante la reunión mantenida para la propuesta del nuevo perfil se decidió no realizar dicha instalación. Por tanto, las nuevas velocidades se van a "*cantar*" al conductor y, por ello, se generó una lista de referencias visuales que complementan el P.K. de inicio de una limitación. Dicho listado se puede ver en el Anexo 6.

La validación del nuevo perfil se realizó mediante la salida a vía de dos días por línea, en la Tabla 9-2 se resume los detalles de los viajes usados, en exclusiva, para validar el nuevo perfil.

Tabla 9-2: Relación de salidas a vía para la validación del nuevo perfil teórico de velocidades.

Fecha	Línea	Viajes por Vía 1	Viajes por Vía 2	Hora comienzo pruebas	Hora finalización pruebas
08/05/2015	ML2	3	3	10:43	13:24
25/05/2015 ⁴	ML2	2	2	10:53	13:36
Total	ML2	5	5	-	-
14/05/2015	ML3	2	2	10:54	13:10
26/05/2015 ⁴	ML3	1	2	10:45	13:37
Total	ML3	3	4	-	-

9.2.3 Modificaciones al perfil teórico

Tras la finalización de las pruebas en vía enumeradas en la Tabla 9-2, se realizaron las siguientes modificaciones sobre el perfil propuesto:

Listado de modificaciones sobre el perfil teórico propuesto para ML2:

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. propuesto	Nuevo P.K.	Límite de velocidad propuesto	Nuevo límite de velocidad	Razón de la modificación
		Pos.	Veloc.					
1	1	✗	✓	7,841.0	-	70 km/h	60 km/h	No se alcanza
	2	✗	✓	6,213.5	-	20 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	3	✗	✓	6,112.9	-	30 km/h	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	4	✓	✗	5,397.5	5,377.8	40 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	5	✓	✗	5,127.5	5,080.0	30 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	6	✗	✓	4,027.1	-	25 km/h	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	7	✗	✓	3,893.0	-	65 km/h	60 km/h	No se alcanza
	8	✗	✓	3,199.2	-	60 km/h	50 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	9	✗	✓	2,916.6	-	30 km/h	25 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	10	✗	✓	2,354.4	-	50 km/h	55 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	11	✗	✓	2,035.0	-	40 km/h	30 km/h	Cruce peligroso por visibilidad.
	12	✓	✗	1,751.7	1,777.4	30 km/h	-	Por visibilidad
	13	✗	✓	1,476.2	-	20 km/h	10 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	14	✓	✗	1,388.0	1,371.4	50 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola

⁴ La primera salida del día 25/05/2015 por ML2 y del día 26/05/2015 por ML3 se realizó con perfil actual. Esto se hizo así para permitir la obtención de datos de referencia de tiempos de viaje, de consumos de energía en vacío y de sensaciones de viaje.

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. propuesto	Nuevo P.K.	Límite de velocidad propuesto	Nuevo límite de velocidad	Razón de la modificación
		Pos.	Veloc.					
2	1	✗	✓	1,147.0	-	55 km/h	50 km/h	No se alcanza
	2	✗	✓	1,399.5	-	20 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	3	✓	✗	2,448.1	2,480.0	40 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	4	✗	✓	2,916.5	-	55 km/h	50 km/h	No se alcanza
	5	✗	✓	3,861.0	-	40 km/h	30 km/h	Impresión en cabina de que se va a golpear contra postes situados en trinchera
	6	✗	✓	4,277.9	-	70 km/h	60 km/h	No se alcanza
	7	✗	✓	4,914.6	-	35 km/h	30 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	8	✓	✗	5,182.0	5,200.0	35 km/h	-	Por visibilidad
	9	✗	✓	6,068.9	-	20 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	10	✓	✗	6,220.1	6,237.1	50 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	11	✓	✓	6,753.2	6,774.7	65 km/h	60 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola No se alcanza
	12	✗	✓	7,236.0	-	25 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	13	✓	✗	7,393.6	7,420	65 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	14	✗	✓	8,020.8	-	40 km/h	30 km/h	Vibraciones por falta de adherencia
	15	✗	✓	8,331.0	-	30 km/h	25 km/h	Exceso de información al conductor en poco espacio

Listado de modificaciones sobre el perfil teórico propuesto para ML3:

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. propuesto	Nuevo P.K.	Límite de velocidad propuesto	Nuevo límite de velocidad	Razón de la modificación
		Pos.	Veloc.					
1	1	✗	✓	13,540.0	-	30 km/h	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	2	✓	✓	-	13,340.0	-	15 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	3	✓	✗	13,294.4	13,280.0	40 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	4	✓	✓	12,886.4	12,919.0	25 km/h	20 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	5	✓	✗	12,859.8	12,810.0	40 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	6	✗	✓	11,894.1	-	25 km/h	30 km/h	Se mantiene límite actual
	7	✓	✓	11,711.5	11,723.0	20 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	8	✓	✓	-	11,665.0	-	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	9	✓	✓	-	11,600.0	-	15 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	10	✓	✗	11,578.6	11,547.0	25 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	11	✗	✓	11,553.9	-	30 km/h	25 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	12	✓	✓	-	11,103.0	-	30 km/h	Por visibilidad con paso de peatones
	13	✓	✓	-	10,980.0	-	35 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	14	✗	✓	10,863.8	-	25 km/h	20 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	15	✓	✓	10,135.6	10,125.0	60 km/h	50 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola No se alcanza
	16	✓	✓	9,686.1	9,663.0	45 km/h	30 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola Vibraciones por falta de adherencia
	17	✓	✗	8,443.0	8,420.0	70 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	18	✗	✓	6,340.0	-	50 km/h	45 km/h	Por visibilidad señal entrada parada
	19	✓	✗	5,856.3	5,846.3	65 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	20	✓	✓	4,923.1	4,910.0	45 km/h	40 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	21	✗	✓	4,656.7	-	50 km/h	40 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	22	✓	✓	3,286.3	3,264.0	45 km/h	40 km/h	Por visibilidad señal
	23	✓	✗	3,201.4	3,193.0	20 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	24	✗	✓	3,065.0	-	-	15 km/h	Movimiento de lazo sobre vía en balasto

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. propuesto	Nuevo P.K.	Límite de velocidad propuesto	Nuevo límite de velocidad	Razón de la modificación
		Pos.	Veloc.					
1	25	✓	✓	2,750.7	2,745.0	25 km/h	30 km/h	Se mantiene límite actual
	26	✓	✓	1,586.2	1,608.0	40 km/h	30 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	27	✗	✓	1,471.0	-	25 km/h	20 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	28	✓	✓	1,367.6	1,363.7	30 km/h	25 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	29	✓	✗	1,303.2	1,276.9	55 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
2	1	✗	✓	1,443.0	-	25 km/h	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	2	✓	✓	2,643.5	2,640.3	25 km/h	30 km/h	Se mantiene límite actual
	3	✓	✓	2,976.4	2,988.0	25 km/h	20 km/h	Se mantiene límite actual por golpe
	4	✗	✓	3,736.5	-	30 km/h	35 km/h	Se mantiene límite actual
	5	✗	✓	4,625.2	-	45 km/h	40 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	6	✓	✗	4,979.3	4,995.0	65 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	7	✓	✗	5,999.5	6,035.0	40 km/h	-	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	8	✓	✗	6,488.3	6,475.0	40 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	9	✓	✓	8,516.5	8,528.0	45 km/h	40 km/h	Por golpe, no se alcanza 45 km/h
	10	✗	✓	9,337.7	-	65 km/h	60 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	11	✗	✓	9,810.0	-	60 km/h	50 km/h	Sensación de descontrol del vehículo
	12	✓	✗	10,140.3	10,120.0	20 km/h	-	Por cruce peligroso
	13	✗	✓	10,165.3	-	25 km/h	20 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	14	✓	✗	11,260.0	11,253.0	30 km/h	-	Se mantiene límite actual
	15	✓	✓	-	11,380.0	-	25 km/h	Se mantiene límite actual
	16	✓	✓	11,558.1	11,570.0	20 km/h	15 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	17	✓	✓	-	11,612.0	-	20 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	18	✓	✓	-	11,670.0	-	15 km/h	Según criterio Responsables de Línea
	19	✗	✓	12,300.4	-	55 km/h	50 km/h	No se alcanza
	20	✓	✗	12,460.0	15,471.0	40 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea
	21	✗	✓	12,838.4	-	25 km/h	20 km/h	Por cambio brusco de dirección en cabeza/cola
	22	✓	✗	13,297.6	13,300.0	15 km/h	-	Según criterio Responsables de Línea

10 Optimización del perfil teórico propuesto

Tras completar la validación del perfil teórico propuesto en el apartado 9, se va a proceder a optimizar el mismo dando respuesta a la *FASE 4* definida en el apartado 2. Dicha optimización comprende un estudio de los impactos en tiempo de viaje y de consumo energético mediante la realización de pruebas en vía.

10.1 Obtención de datos de consumo energético

Para estas pruebas se va a utilizar la unidad 106. La razón para utilizar esta unidad es debido a que tiene instalado un medidor de energía embarcado. Dicho elemento, nos permitirá la obtención de los datos de consumo energético durante las pruebas.

El medidor de energía, suministrado por Alstom y en funcionamiento desde abril de 2014, cuenta con una serie de transductores de tensión e intensidad que permiten obtener los datos de potencia demandada por los motores (*consumo de tracción*), la climatización de sala, los reóstatos de freno y el convertidor (auxiliares).

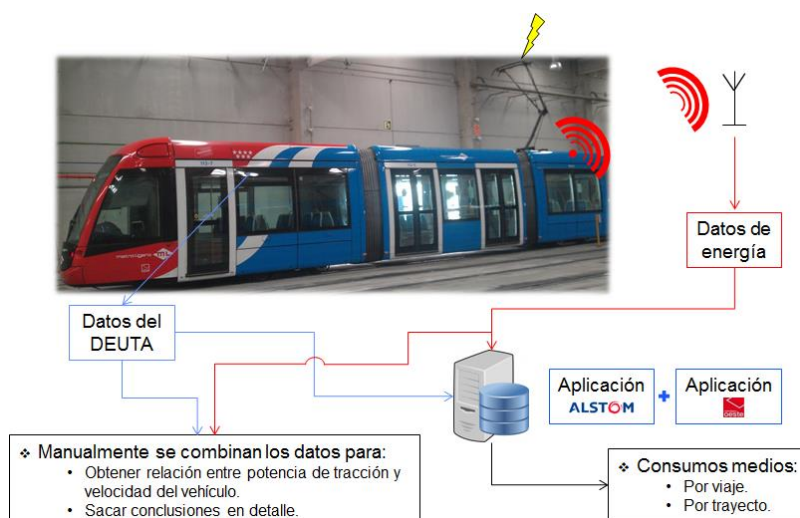


Ilustración 10-1: Esquema de funcionamiento del Medidor de Energía [Fuente: Elaboración propia]

Como se puede observar en la Ilustración 10-1, el envío de datos de energía se realiza vía wifi para su registro en una base de datos. Por otro lado, una vez a la semana se descargan manualmente los datos del registrador jurídico del tren (*DEUTA*) para obtener la información de posición y velocidad que permite localizar los consumos.

Ambos archivos se cargan en una aplicación, desarrollada por Alstom, que permite calcular los consumos de tracción, de climatización de sala, de los reóstatos de freno y de los equipos auxiliares.

Una vez tratados, para su descarga y análisis se utiliza una aplicación interna desarrollada en MLO. Dicha aplicación permite la descarga rápida de los consumos por viaje y por trayecto entre paradas.

10.2 Pruebas en vía

Para la realización de pruebas en vía, y la obtención de datos para la optimización del nuevo perfil, se tienen en cuenta las mismas consideraciones generales descritas en el apartado 9.2.2. Además, se añaden las siguientes consideraciones adicionales:

- Se comprueba la disponibilidad de la unidad 106 (equipada con el medidor de energía embarcado) para la realización de las pruebas.
 - ❖ Se evita que las pruebas coincidan con labores de mantenimiento de la unidad.
 - ❖ Se solicita que a la unidad no se le asigne servicio comercial durante el periodo que duran las pruebas (hora valle de la mañana)
- Las pruebas se organizan siguiendo el siguiente esquema:
 - ❖ Salida sobre las 10:30 desde Colonia Jardín, cabecera de línea común para las líneas ML2 y ML3 (en función de cuando quede disponible la unidad 106)
 - ❖ Realización de 3-4 recorridos de ida y vuelta (*A evaluar en función de la hora*). De los cuales:
 - ✓ Recorrido de ida y vuelta aplicando límites de velocidad actuales. Se realiza con dos fines: obtención de consumos con el perfil actual en condiciones de vehículo en vacío (*viajes de referencia*), e identificación de cambios del perfil propuesto con respecto al perfil actual.
 - ✓ Recorridos de ida y vuelta con el nuevo perfil.

La obtención de datos de consumos de energía y de impacto en tiempo de viaje del nuevo perfil se realizó mediante las siguientes salidas a vía, la Tabla 10-1 resume los detalles de los viajes realizados.

Tabla 10-1: Relación de salidas a vía para la obtención de datos del nuevo perfil de velocidades.

Fecha	Línea	Viajes por Vía 1	Viajes por Vía 2	Hora comienzo pruebas	Hora finalización pruebas
18/06/2015	ML2	4	4	10:42	14:02
23/06/2015	ML2	4	4	12:40	15:07
25/06/2015 ⁵	ML2	2	2	12:24	14:03
01/07/2015	ML2	4	4	11:08	14:31
Total	ML2	14	14	-	-
11/06/2015	ML3	2	3	10:42	13:51
17/06/2015	ML3	1	2	10:15	14:36
24/06/2015 ⁵	ML3	4	3	10:30	14:35
Total	ML3	7	8	-	-

⁵ El día 24/06/2015 por ML3 y del día 25/06/2015 por ML3 no se realizó ningún viaje con perfil actual. Se realizó de esta manera debido a que el conductor ya tenía los puntos de referencia de frenada para el nuevo perfil y que esos días, a priori, había una limitación en la duración de las pruebas.

10.3 Impacto en tiempos de viaje

Para el cálculo del impacto en los tiempos de viaje, se comparan los tiempos obtenidos en los viajes de referencia (*usando el perfil de velocidades actual*) con los que se obtienen usando el nuevo perfil.

Al analizar los datos de las pruebas en vía, se observa que los diferentes estilos de conducción influyen en los tiempos de viaje. Sin embargo, dicha influencia afecta por igual a los viajes con el perfil actual y con el nuevo perfil. Por tanto, para obtener una visión más representativa del impacto en los tiempos de viaje se utilizan los tiempos medios de las circulaciones realizadas cada perfil.

Como se puede ver en la Tabla 10-2, el impacto en tiempo de viaje del nuevo perfil es mayor en ML2 que en ML3. Esto es debido a que el perfil de velocidades no había sido modificado en ML2 desde el inicio de la explotación en 2007, mientras que sobre ML3 se realizaron ciertas modificaciones en base a la experiencia. A pesar de todo esto, la reducción de tiempo de viaje que se observa en ML3 puede considerarse destacable dado que se logra mejorar los tiempos de viaje en aproximadamente un 3% en ambos sentidos.

Tabla 10-2: Resumen del impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil.

		ML2		ML3	
		Vía 1	Vía 2	Vía 1	Vía 2
Tiempos medios de viaje [min]	Perfil actual	23:28	23:10	32:15	32:00
	Nuevo perfil	22:02	21:46	31:23	30:49
	Diferencia	-01:26 (- 6.10 %)	- 01:24 (- 6.01 %)	- 00:52 (- 2.71 %)	- 01:11 (- 3.7 %)

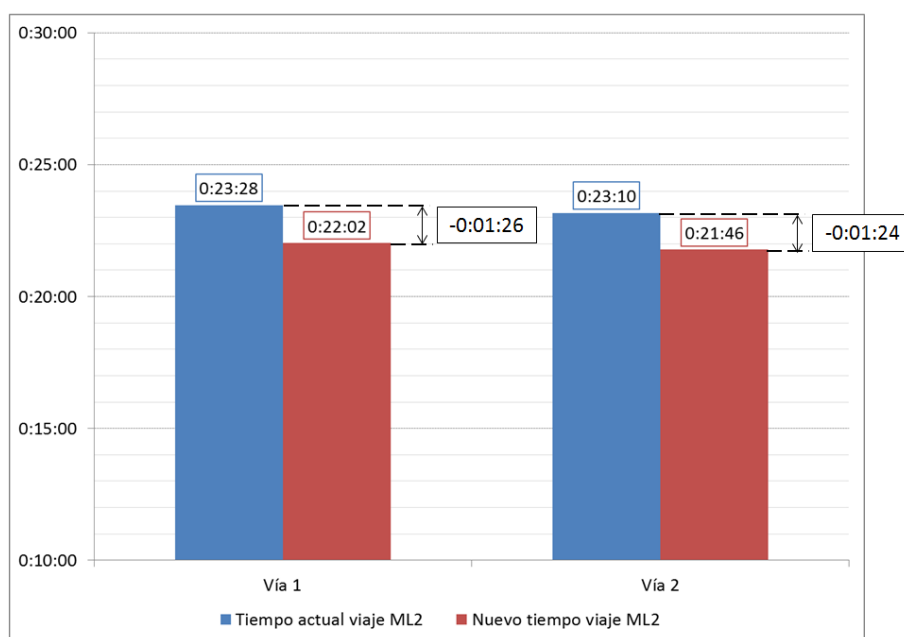


Figura 10-1: Impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil sobre ML2

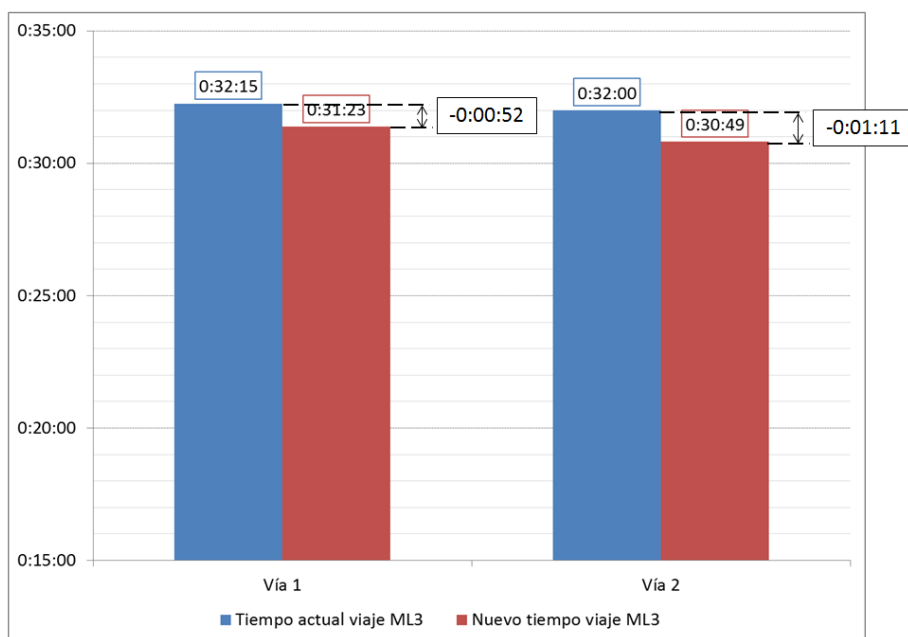


Figura 10-2: Impacto en tiempos de viaje del nuevo perfil sobre ML3

Aunque la reducción en los tiempos de viaje no permita prescindir de un vehículo en la prestación del servicio comercial, aporta dos ventajas:

- Hace más realista los tiempos de viaje considerados actualmente para ML2, donde todos los vehículos llegan con, mínimo, un minuto de retraso sobre el horario establecido.
- Dado que la velocidad comercial es un factor esencial en la elección de un modo de transporte, sobre todo para los viajes de movilidad obligada, el impacto positivo sobre la velocidad comercial media que se observa en la Tabla 10-2 aumentará el atractivo de MLO a potenciales usuarios. La cercanía de los nuevos tiempos de viaje entre terminales a la frontera psicológica de los 20 y los 30 minutos, para ML2 y ML3 respectivamente, puede ser usado en campañas publicitarias para promover el metro ligero como medio de transporte alternativo al autobús y al coche particular.

Tabla 10-3: Resumen del impacto en la velocidad comercial media del nuevo perfil.

		ML2		ML3	
		Vía 1	Vía 2	Vía 1	Vía 2
Velocidad comercial media [km/h]	Perfil actual	22.09	22.25	25.13	25.39
	Nuevo perfil	23.53	23.68	25.83	26.36
	Diferencia	+ 1.44 (+ 6.51 %)	+ 1.43 (+ 6.43 %)	+ 0.69 (+ 2.76 %)	+ 0.97 (+ 3.84 %)

10.4 Consumo energético

Por otro lado, se analiza el consumo energético del nuevo perfil para comprobar si la ganancia en los tiempos de viaje tiene un efecto negativo en los consumos de energía que se obtienen con el perfil actual; dichos datos se obtienen como se ha descrito en el apartado 10.1.

Dado que la modificación del perfil de velocidades sólo afecta a la potencia demandada por los motores, en este apartado se evaluará la energía consumida por éstos durante la tracción, junto con la energía devuelta por los mismos durante el frenado. Este balance energético se va a denominar consumo neto de tracción y será la medida usada para la comparación de perfiles desde el punto energético.

La razón por la que se utiliza el consumo neto a nivel de motores en vez de a nivel de pantógrafo, es la de eliminar la influencia del resto de consumos del tren que son independientes del perfil de velocidades tales como climatización y auxiliares.

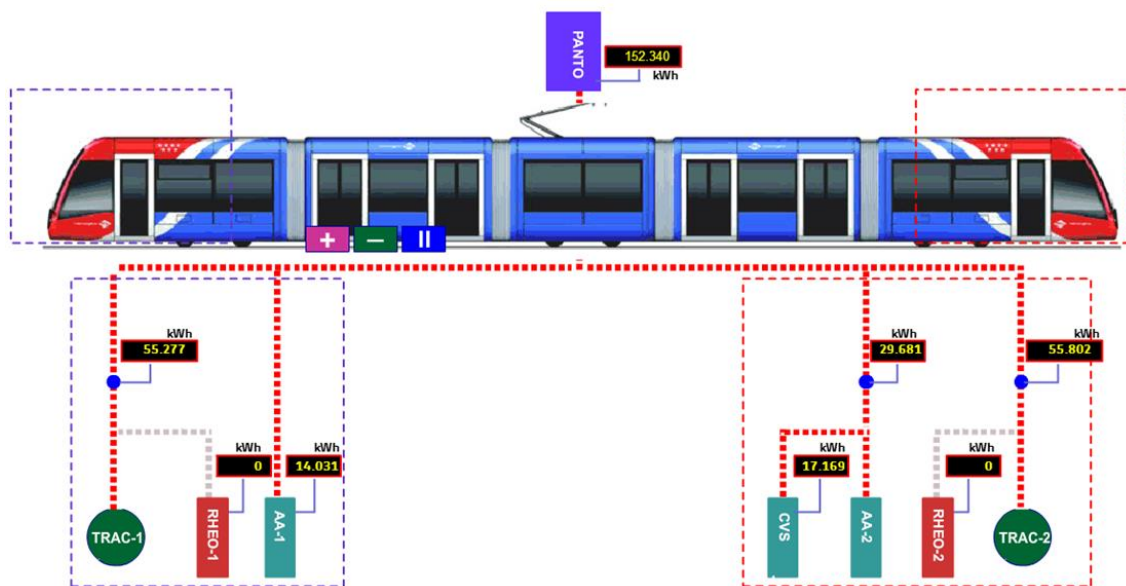


Ilustración 10-2: Esquema consumos de energía del vehículo en tracción
[Fuente: Aplicación de energía de Alstom]

Debido al impacto que tiene el estilo de conducción sobre el consumo energético de tracción, el análisis no sólo va a tener en cuenta la diferencia de consumo medio que se obtiene con el nuevo perfil con respecto al actual, sino que se va a considerar la variabilidad de los resultados mediante el análisis de la desviación típica.

El análisis de consumo llevado a cabo, tanto para ML2 como para ML3, sigue la siguiente estructura:

- Obtención del reparto de consumo neto de tracción en cada línea (ML2 y ML3)

Para este análisis se utilizan los datos registrados por el medidor de energía embarcado en la unidad 106 en el último año. Con ellos se calcula el promedio anual de consumos entre paradas de aquellos viajes realizados en las mismas condiciones que las pruebas en vía (*servicios de lunes a jueves en hora valle de mediodía*). Esto permite conocer el reparto de consumos en cada una de las líneas (*Ver Figura 10-3 y Figura 10-8*).

- Comparativa de consumos netos de tracción medios de los viajes de referencia con respecto a los obtenidos con el nuevo perfil, **por recorrido completo** (ML2 Vía 1, ML2 Vía 2, ML3 Vía 1 y ML3 Vía 2)

Esta comparativa nos permite evaluar cómo el nuevo perfil penaliza, o mejora, los consumos frente al perfil actual en cada recorrido.

- Comparativa de consumos netos de tracción medios de los viajes de referencia con respecto a los obtenidos con el nuevo perfil, **por tramo entre paradas**.

Esta comparativa nos permite identificar en qué tramos entre paradas el nuevo perfil penaliza, o mejora, los consumos frente al perfil actual.

- Análisis detallado de la potencia demandada frente a la velocidad del vehículo.

Para poder identificar qué medidas se han de tomar para reducir el consumo energético, se realiza un análisis más en detalle. El proceso consiste en combinar, en una hoja de cálculo, los datos de potencia registrados en el medidor con los datos de posición y velocidad extraídos del registrador jurídico del tren (*DEUTA*). Este análisis nos permite obtener la demanda de potencia instantánea geolocalizada y relacionarla con la velocidad del vehículo; favoreciendo la identificación de modificaciones del perfil por consumo energético.

Durante el análisis de consumo, se van a considerar los siguientes criterios generales como medidas de ahorro energético:

- Evitar gradientes de velocidad superiores a 30 km/h en rampas pronunciadas. Esta medida se conseguiría entrando en la rampa a mayor velocidad o limitando la velocidad en la misma.

- Intentar que las aceleraciones se produzcan en aquellos puntos donde el trazado este en pendiente o, por lo menos, en llano.
- Incrementar, siempre que sea posible, los límites de velocidad más restrictivos para reducir la energía disipada en frenado y la demanda de tracción en aceleraciones posteriores.
- Evitar aquellos límites de velocidad que propicien que tras una fuerte aceleración, y nada más alcanzar dicha velocidad, se tenga que decelerar.
- Limitar la velocidad máxima en aquellas aceleraciones donde al vehículo, por singularidades del trazado, le cueste traccionar.
- Siempre que sea posible, especialmente donde se produzcan grandes incrementos de velocidad, evitar que la aceleración se produzca cuando parte del vehículo se encuentra todavía inscrito en la curva. Esta medida se conseguiría alejando la placa de límite de velocidad de la salida de la curva.
- Identificar las zonas neutras que, por su colocación, perjudiquen negativamente el consumo de energía (*no se permite traccionar sobre ellas para evitar daños en los aisladores de catenaria*).

Las medidas anteriormente descritas, en resumen, buscan lo siguiente:

- Homogenizar el perfil de velocidades lo máximo posible.
- Evitar el uso innecesario del freno dado que, en los casos donde no haya otro vehículo demandando energía, esa energía se disipa y se "*quema*" en los reóstatos y/o discos de freno.
- Favorecer la conducción en deriva, especialmente en aquellos puntos del trazado donde existen largas rectas o una gran distancia entre paradas.

Una vez definido el proceso y los criterios que se usan en el análisis de consumos, se procede a detallar dicho análisis para cada una de las líneas. Se comenzará con la descripción de los consumos energéticos que se han conseguido con el nuevo perfil propuesto en ML2 y ML3. Y como conclusión, en la Tabla 10-6, se enumerarán los cambios que se han realizado sobre el perfil propuesto por motivos energéticos.

10.4.1 Consumo energético en ML2

El primer paso del análisis es el de identificar aquellos puntos de ML2 donde se concentran los mayores consumos netos de tracción. Utilizando el promedio anual de consumos netos de tracción, definido en el apartado 0 y representado en la Figura 10-3, se puede observar que los consumos en ML2 se reparten a lo largo de la línea de manera bastante homogénea. Los únicos tramos entre paradas identificados con picos de consumo ($\geq 18\%$) son:

- Berna → Avda. Europa (Vía 1)
- Campus de Somosaguas → Dos Castillas (Vía 1)
- Prado de la Vega → Colonia de Los Ángeles (Vía 2)

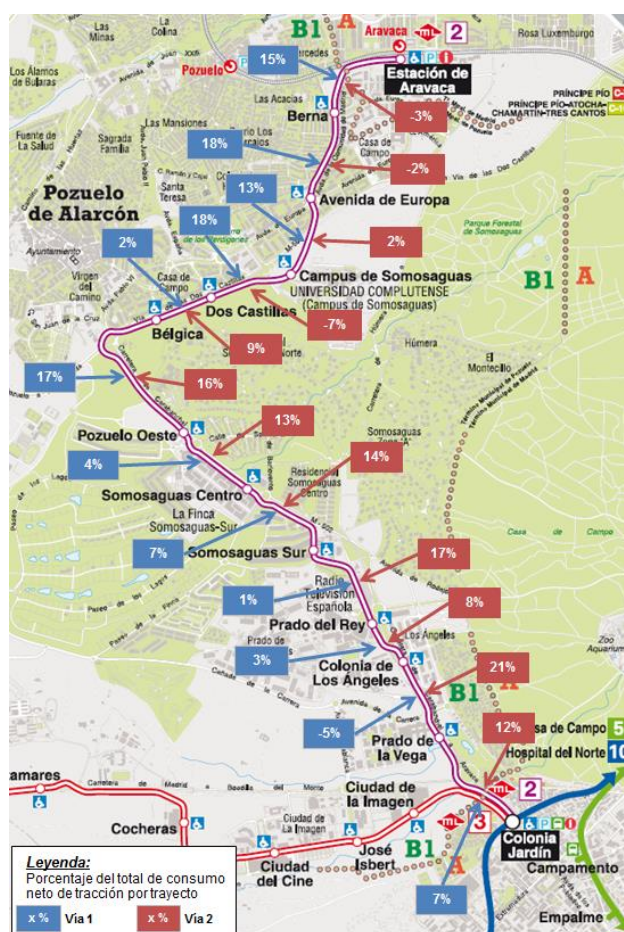


Figura 10-3: Distribución de consumos netos de tracción con perfil actual de velocidades en ML2
[Fuente: Elaboración propia]

Una vez identificado el reparto de consumos en la línea con el actual perfil, se procede a estudiar cuál sería el impacto sobre el consumo al aplicar el nuevo perfil de velocidades.

Tabla 10-4: Impacto en consumo neto de tracción del nuevo perfil en ML2

	Vía 1		Vía 2	
	Consumo medio	Desviación	Consumo medio	Desviación
Perfil actual	16.88 kWh	± 0.30	14.89 kWh	± 0.67
Nuevo perfil	17.38 kWh	± 0.40	14.28 kWh	± 0.36
Diferencia	+ 0.5 kWh (+ 2.96 %)		- 0.61 kWh (- 4.10 %)	

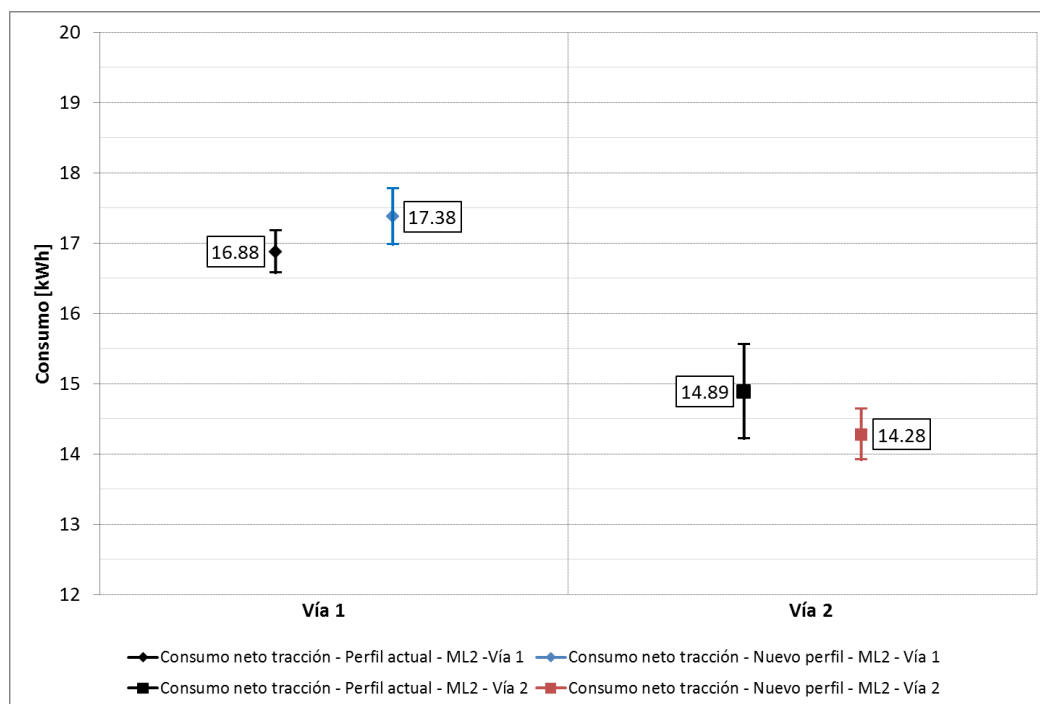


Figura 10-4: Impacto en consumos netos de tracción del nuevo perfil en ML2

Como se observa de los datos presentados en la Tabla 10-4, y en la Figura 10-4, los datos de consumo son significativos y representan una mejora en el consumo de tracción medio global (Vía 1 + Vía 2) de la línea. La mejora que se obtiene en vía 2, compensa los peores consumos que se obtienen por vía 1. Sin embargo, para entender un poco mejor estas variaciones de consumo, se procede a analizar los datos por recorrido entre paradas. Dichos datos se muestran a continuación en la Figura 10-5.

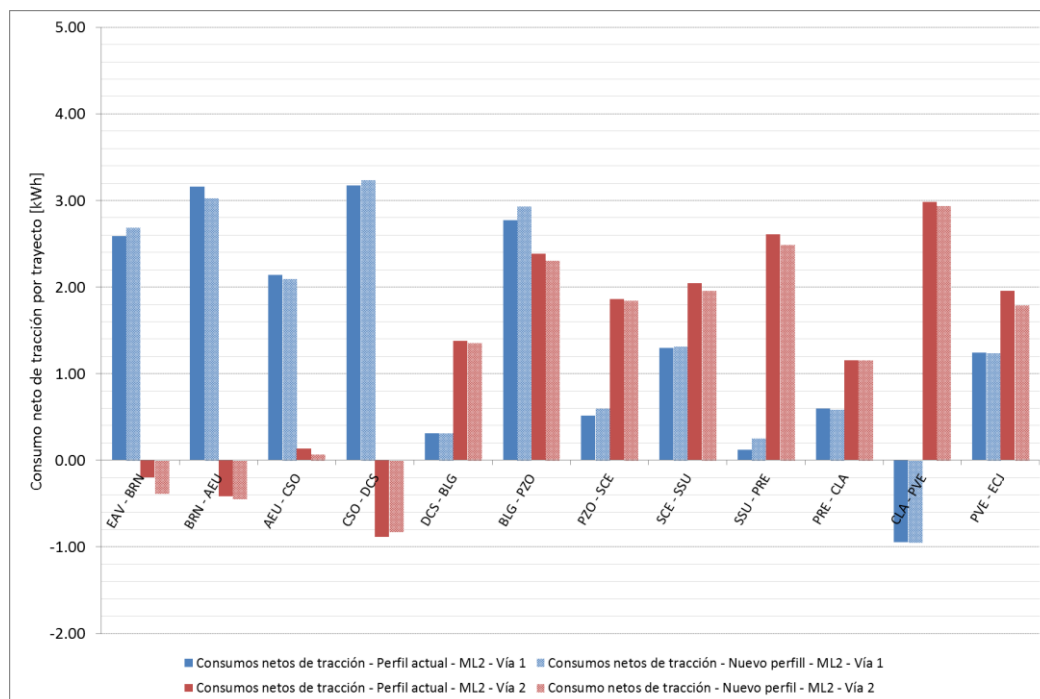


Figura 10-5: Comparativa consumos netos de tracción en ML2 por trayecto.

Como se puede observar, el mayor incremento de consumo debido al nuevo perfil de velocidades se da en vía 1 entre las paradas de Bélgica y Pozuelo Oeste (*BLG-PZO*). Dicho incremento, de un 5.46 %, justifica el mayor consumo del nuevo perfil frente al actual. Entre las razones que podrían justificar este mayor consumo, se encuentra la dificultad existente en este tramo para tomar con exactitud los puntos de referencia donde se colocarían las nuevas placas de velocidad. Esto produciría que algunas de las aceleraciones durante las pruebas se realizaran en plena rampa, afectando negativamente al consumo sin obtener ventaja sobre los tiempos de viaje. Por ello se espera que, una vez colocadas las placas con el nuevo perfil, en servicio comercial los consumos se reduzcan.

Como último paso, se hace el análisis detallado de aquellos puntos de mayor consumo. Debido a la complejidad del mismo, sólo se expondrá en este informe uno de los puntos analizados a modo de ejemplo. El caso que se va a mostrar es el trayecto comprendido entre Berna y Avda. Europa. La Figura 10-6 muestra la fuerte rampa existente entre ambas paradas cuando se circula por vía 1 (desde Berna hacia Avda. Europa)

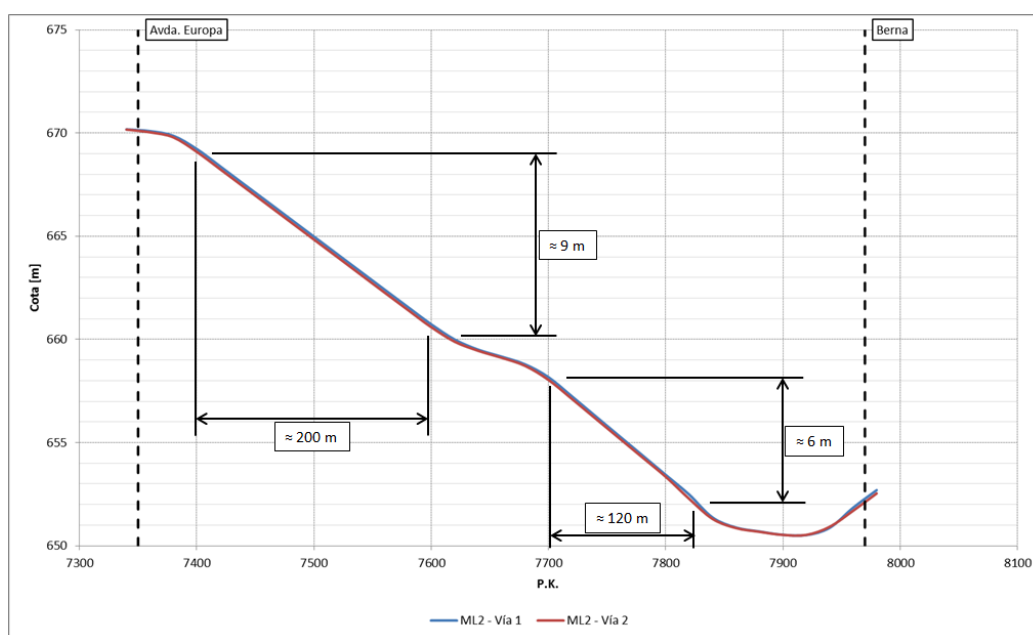


Figura 10-6: Perfil de ML2 entre las paradas de Avda. Europa y Berna.

La Figura 10-7 muestra en línea continua la potencia demandada por los motores y en línea punteada la velocidad a la que circulaba en dicho punto.

El actual límite de velocidad establece una velocidad máxima de 60 km/h desde el P.K. 7,841. En la Figura 10-6 se puede comprobar que en dicho punto se encuentra al inicio de la rampa.

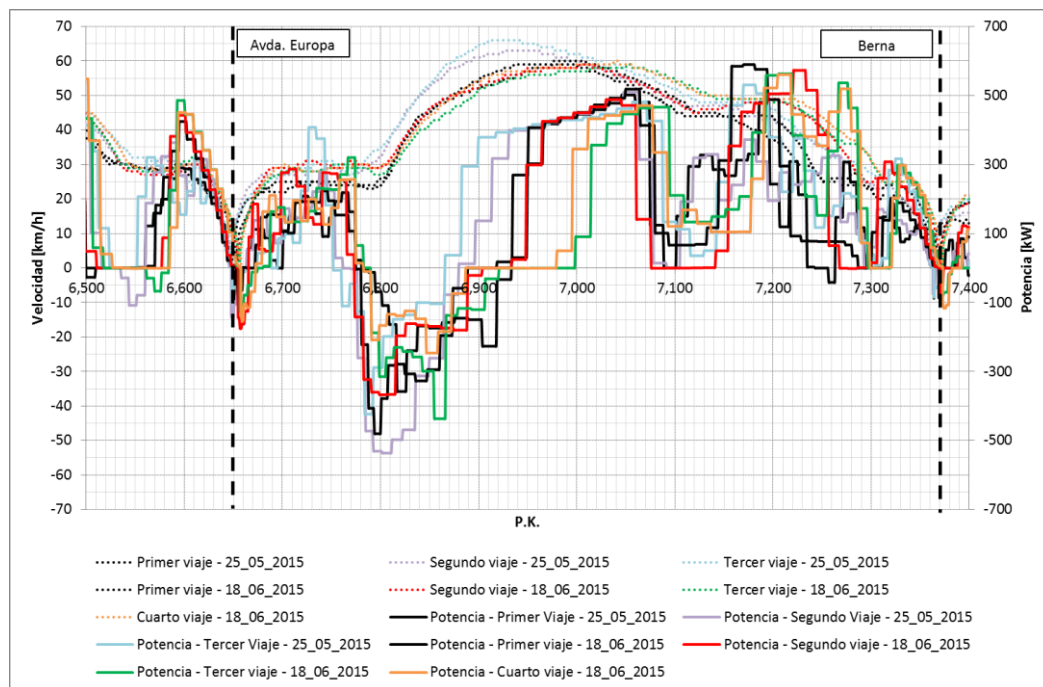


Figura 10-7: Velocidad del vehículo y potencia demanda por los motores durante las pruebas en vía por ML2.

Durante las pruebas de validación del vehículo se propuso incrementar el límite a 70 km/h en dicha zona. Sin embargo, se comprueba que nunca se logra alcanzar dicha velocidad. También se puede observar que el actual límite de 60 km/h obliga a demandar potencia durante un periodo más largo. Se estudia el impacto en tiempo de viaje que tendría reducir el límite de 60 km/h a 55 km/h y se ve que sería de $\approx + 2$ segundos. Y por ello se propone dicho cambio, que se validó con las pruebas en vía enumeradas en la Tabla 10-1, reduciendo el consumo en dicho trayecto.

10.4.2 Consumo energético en ML3

El primer paso del análisis es el de identificar aquellos puntos de ML3 donde se concentran los mayores consumos netos de tracción. Utilizando el promedio anual de consumos netos de tracción, definido en el apartado 0 y representado en la Figura 10-8, los consumos en ML3 no se reparten de manera bastante homogénea como sucedía en ML2. Los trayectos identificados con picos de consumo ($\geq 20\%$) son:

- Ferial de Boadilla → Cantabria (Vía 1)
- Cantabria → Prado del Espino (Vía 1)
- Prado del Espino → Ventorro del Cano (Vía 1)
- Retamares → Montepríncipe (Vía 2)

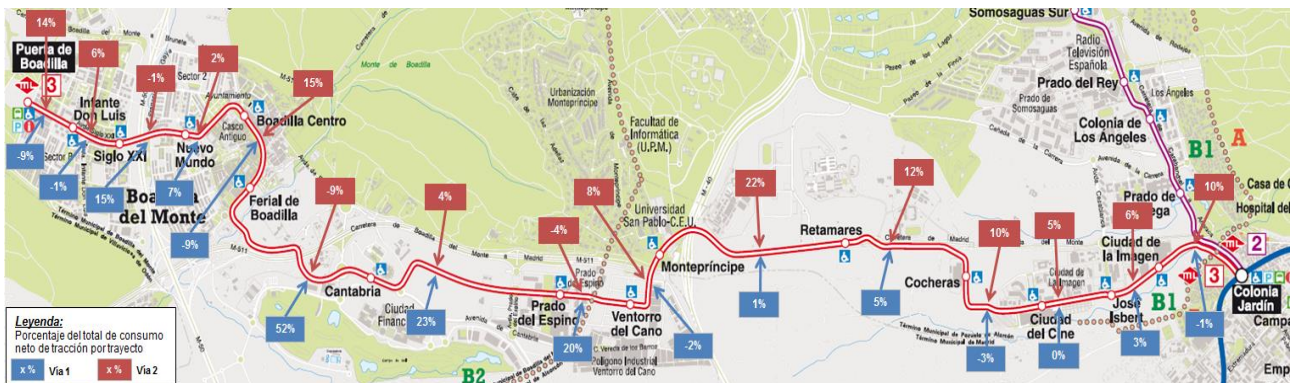


Figura 10-8: Distribución de consumos netos de tracción con perfil actual de velocidades en ML3
[Fuente: Elaboración propia]

Una vez identificado el reparto de consumos en la línea con el actual perfil, se procede a estudiar cuál sería el impacto sobre el consumo al aplicar el nuevo perfil de velocidades.

Tabla 10-5: Impacto en consumo neto de tracción del nuevo perfil en ML2

	Vía 1		Vía 2	
	Consumo medio	Desviación	Consumo medio	Desviación
Perfil actual	16.29 kWh	± 0.36	27.01 kWh	± 0.81
Nuevo perfil	16.65 kWh	± 0.55	27.34 kWh	± 0.13
Diferencia	+ 0.36 kWh (+ 2.22 %)		+ 0.33 kWh (+ 1.21 %)	

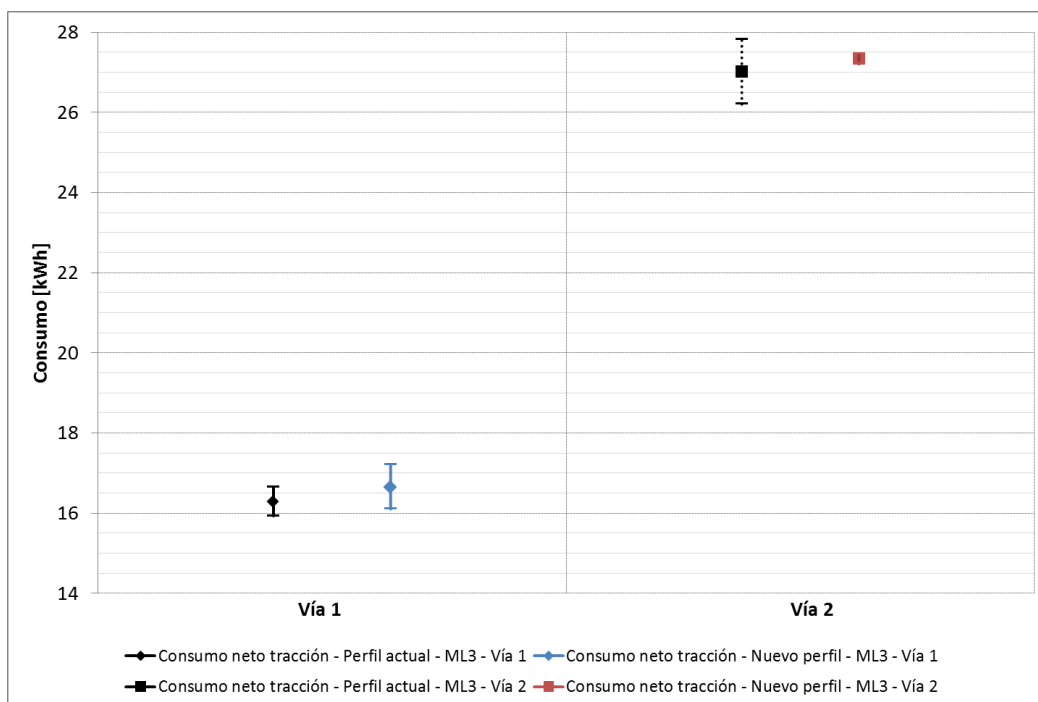


Figura 10-9: Impacto en consumos netos de tracción del nuevo perfil en ML3

Como se observa de los datos presentados en la Tabla 10-5, y en la Figura 10-9, los datos de consumo obtenidos, a pesar de ser peores de media, no son significativos pues están comprendidos en la propia variabilidad de los consumos en el perfil actual. Sin embargo, para entender un poco mejor la distribución de los consumos, se procede a analizar los datos por recorrido entre paradas. Dichos datos se muestran a continuación en la Figura 10-10.

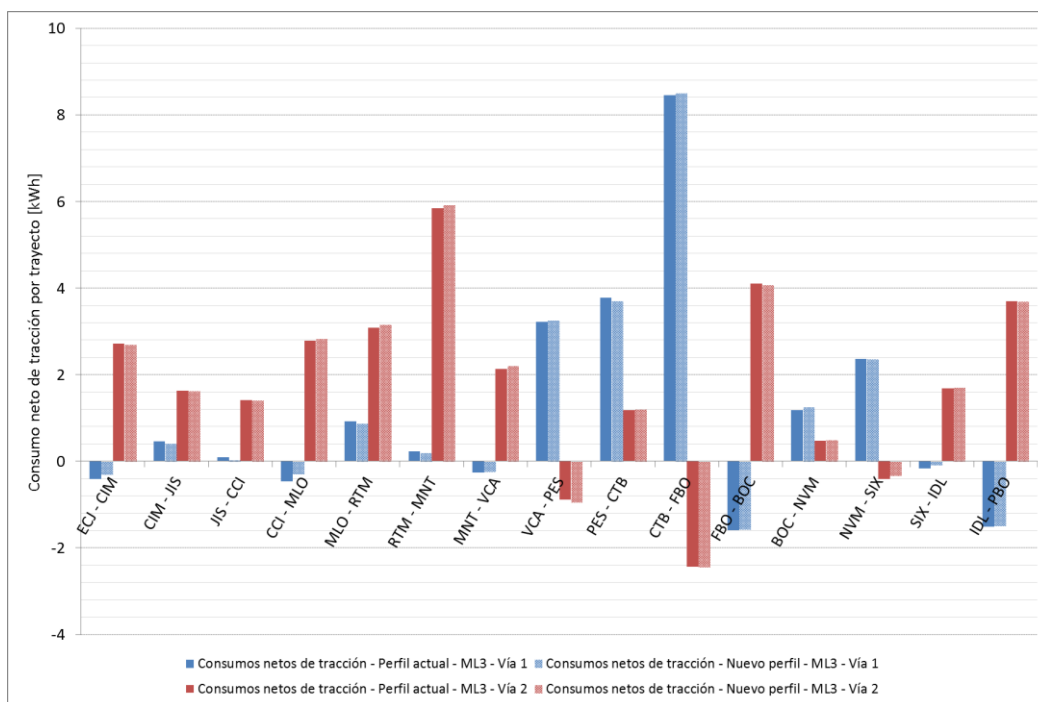


Figura 10-10: Comparativa consumos netos de tracción en ML3 por trayecto.

Como se puede observar, no existen variaciones destacables de consumo entre el perfil actual y el nuevo perfil en ninguno de los trayectos. De esto se deriva que, pese a la mejora en los tiempos de viaje, no existe un incremento en los consumos de energía para ML3.

10.5 Propuesta de perfil de velocidades

Una vez finalizado la optimización del perfil teórico de velocidades definido en el apartado 9, y analizado el impacto en los tiempos de viaje y en consumos de energía con respecto al perfil actual, en el Anexo 7 se adjunta el perfil de velocidades que se propone para ser implementado en MLO.

A continuación, en el apartado 10.5.1, se detallan todos los cambios por motivos energéticos incluidos en la propuesta definitiva de perfil de velocidades con su justificación.

10.5.1 Cambios realizados en el perfil para optimizar el consumo energético

Tabla 10-6: Resumen de cambios realizados en el perfil de velocidades para optimizar consumo energético

Línea	Vía	Id.	P.K. propuesta inicial	Nuevo P.K.	Límite de velocidad actual	Nuevo límite de velocidad	Observaciones
ML2	1	1	7,841.0	-	60 km/h	50 km/h	Rampa fuerte en túnel, obliga a aplicar freno nada más alcanzar dicha velocidad. Se busca favorecer circulación en deriva.
		2	7,078.3	-	70 km/h	60 km/h	No se alcanza, obliga a aplicar freno antes de alcanzar dicha velocidad. Se busca favorecer circulación en deriva.
	2	3	3,950.4	-	20 km/h	25 km/h	Permitir paso por curva a velocidad constante antes de parada. Se busca favorecer circulación en deriva.
			4,032.9	-	30 km/h		
		4	6,774.4	-	65 km/h	60 km/h	La existencia de una zona neutra tras la placa de velocidad, impide la aceleración aprovechando la pendiente y, por tanto, obliga a una deceleración nada más alcanzar dicha velocidad. Se busca favorecer la circulación en deriva.
		5	8,020.8	8,015.0	40 km/h	30 km/h	Aceleración desde parado en rampa, existencia de un engrasador de pestaña y una zona neutra antes de alcanzar los 30 km/h, al vehículo le cuesta traccionar.
ML3	1	1	10,633.3	-	40 km/h	35 km/h	Fuerte aceleración desde parado que obliga a aplicar freno nada más alcanzar dicha velocidad. Se busca favorecer circulación en deriva.
		2	9,663.0	-	45 km/h	30 km/h	Aceleración en rampa fuerte, al vehículo le cuesta traccionar.
		3	8,440.0	8,420.0	70 km/h	-	Permitir aceleración cuando el vehículo ha salido de la aceleración
		4	4,625.2	-	70 km/h	65 km/h	Obliga a una deceleración nada más alcanzar dicha velocidad. Se busca favorecer circulación en deriva.

11 Conclusiones

Tras la finalización del proyecto, a modo de resumen, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El perfil de velocidades actual cumple, en su mayor parte, con los requisitos definidos de seguridad y confort del viajero. Sin embargo, existen 18 puntos en ML2 y 20 puntos en ML3 que necesitarían una revisión para asegurarse que no se exceden los límites definidos ante ninguna situación. Además, nueve de los cambios recomendados permitirán una mejora en la vida útil de las agujas, y una reducción de su mantenimiento, al evitar acelerar o frenar sobre ellas.
- El nuevo perfil teórico, generado a partir de las ecuaciones, ha demostrado permitir una circulación segura pero no necesariamente confortable para los pasajeros. Por ello ha sido necesaria la incorporación de una serie de modificaciones, sobre dicho perfil teórico, tras las pruebas de validación en vía. Dichas modificaciones buscan aumentar el confort de viaje tanto para los pasajeros como para el conductor. La razón por la que se ha tenido que revisar el perfil teórico ha sido debido a:
 - ❖ Imperfecciones en vía, no contempladas en la definición del trazado.
 - ❖ Aceleraciones pre (García, Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril, 2011)aturas por no tener en cuenta que parte del vehículo todavía se encuentra inscrito en curva y, por tanto, en ciertas condiciones el primer bogie no es capaz de guiar eficazmente los bogies siguientes provocando un golpe en cola del tren.
- Una vez validado, y modificado, el nuevo perfil teórico se ha optimizado según consumos y tiempos de viaje con lo que se ha conseguido:
 - ❖ Una reducción de $\approx 1:20$ minutos ($\approx - 6 \%$) en los tiempos de viaje de ML2 con una reducción global del consumo neto de tracción de $\approx - 0.11$ kWh ($\approx - 0.35 \%$).
 - ❖ Una reducción de ≈ 1 minuto ($\approx - 3 \%$) en los tiempos de viaje de ML3 sin una variación significativa del consumo neto de tracción que se obtiene con el actual perfil.

12 Planificación y Programación

Id	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	ic '14 ene '1 feb '1 mar '1 abr '1 may '1 jun '1 jul '15 ago
1	FASE 1: Obtención de los parámetros geométricos del trazado	50 días	lun 22/12/14	vie 27/02/15	
2	Trazado de ML2	15 días	lun 22/12/14	vie 09/01/15	
3	Trazado de ML3	10 días	lun 16/02/15	vie 27/02/15	
4	FASE 2: Análisis de las velocidades máximas por trazado	70 días	lun 15/12/14	vie 20/03/15	
5	Definición de los criterios de diseño y confort del viajero	6 días	lun 15/12/14	lun 22/12/14	
6	Perfil de velocidades máximas por trazado en ML2	15 días	lun 12/01/15	vie 30/01/15	
7	Identificación de límites de velocidad por Reglamento de Circulación	3 días	mié 28/01/15	vie 30/01/15	
8	Cálculo de las velocidades máximas por trazado en ML2	15 días	lun 12/01/15	vie 30/01/15	
9	Perfil de velocidades máximas por trazado en ML3	15 días	lun 02/03/15	vie 20/03/15	
10	Identificación de límites de velocidad por Reglamento de Circulación	3 días	lun 02/03/15	mié 04/03/15	
11	Cálculo de las velocidades máximas por trazado en ML3	15 días	lun 02/03/15	vie 20/03/15	
12	FASE 3: Análisis de las aceleraciones/deceleraciones del tranvía CITADIS 302	25 días	vie 20/02/15	jue 26/03/15	
13	Pruebas de aceleración y frenado para obtener valores de Freno Máximo de Servicio	2 días	vie 20/02/15	lun 23/02/15	
14	Análisis de aceleraciones/deceleraciones medias en servicio comercial	10 días	vie 13/03/15	jue 26/03/15	
15	OBJETIVO 1: Auditoría perfil actual	0 días	vie 27/03/15	vie 27/03/15	
16	FASE 4: Propuesta de perfil de velocidades	66 días	lun 30/03/15	vie 03/07/15	
17	Cálculo teórico de tiempos de viaje	1 día	lun 30/03/15	lun 30/03/15	
18	Propuesta de nuevo perfil de velocidades	0 días	mar 31/03/15	mar 31/03/15	
19	Nuevo perfil de velocidades en ML2	0 días	mar 31/03/15	mar 31/03/15	
20	Nuevo perfil de velocidades en ML3	0 días	mar 31/03/15	mar 31/03/15	
21	PROPUESTA PERFIL TEÓRICO DE VELOCIDAD	12 días	vie 08/05/15	mar 26/05/15	
22	PRUEBAS EN VÍA: Validación perfil teórico	12 días	vie 08/05/15	mar 26/05/15	
23	Propuesta nuevo perfil de velocidad validado	0 días	mar 26/05/15	mar 26/05/15	
24	OPTIMIZACIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDADES	23 días	mié 27/05/15	vie 26/06/15	
25	Perfil de velocidades optimizado en ML2	23 días	mié 27/05/15	vie 26/06/15	
26	Perfil de velocidades optimizado en ML3	23 días	mié 27/05/15	vie 26/06/15	
27	PRUEBAS EN VÍA	28 días	mié 27/05/15	vie 03/07/15	
28	Identificación de puntos críticos en terminos de consumo de energía	13 días	mié 27/05/15	vie 12/06/15	
29	Cálculo de impacto en tiempos de viaje	20 días	lun 08/06/15	vie 03/07/15	
30	Análisis de consumos de energía	25 días	lun 01/06/15	vie 03/07/15	
31	FASE 5: Propuesta final de perfil de velocidades	0 días	vie 03/07/15	vie 03/07/15	
32	Redacción del informe	75 días	lun 23/03/15	jue 09/07/15	
33	ENTREGA TFM	0 días	jue 09/07/15	jue 09/07/15	
34	DEFENSA TFM	0 días	mié 15/07/15	mié 15/07/15	

13 Referencias

- [1] **Alstom Transport S.A.** (2006). *CITADIS 302 Performances 66% motoriz* (TRA Y 450710000 ind.A.)
- [2] **Alstom Transport S.A.** (2006). *MADRID Cálculo de inclinación de caja.*
- [3] **Alstom Transport S.A.** (2012). *Manual de conducción del Metro Ligero CML.11.00.00.*
- [4] **Alstom Transport S.A.** (2012). *Manual de descripción del funcionamiento del Metro Ligero CML.23.03.00 Tracción/Freno.*
- [5] **Alstom Transporte - Ingeniería TLS.** (2014). *Especificación técnica - Registrador de energía para CITADIS MLO* (09.U4.99.00.003 ed.). Madrid.
- [6] **Andrés Hilarion, H.** (2010). *Criterios de trazado para la insercción urbana del tranvía.* Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [7] **García, A.** (2011). *Energía y emisiones en el transporte por ferrocarril.* Madrid: Fundación de los Ferrocarriles Españoles.
- [8] **García, A.** (2015). *Apuntes de la asignatura Gestión de la Energía y los Recursos del Operador.* Madrid: Máster Sistemas Ferroviarios, ICAI-Univ. Pontificia de Comillas.
- [9] **Gerencia de Nuevo Material Móvil y Reformas de Metro de Madrid.** (2004). *Pliego de condiciones técnicas. Material móvil para transporte ferroviario.* Madrid.
- [10] **Gilaberte, M., & Rubio, E.** (2014). *Apuntes de la asignatura Vía y Obra Civil.* Madrid: Máster Sistemas Ferroviarios, ICAI-Univ. Pontificia de Comillas.
- [11] **INECO.** (2004). *Proyecto constructivo de la infraestructura de una nueva línea de Metro Ligero desde Colonia Jardín a Pozuelo de Alarcón.* Madrid.
- [12] **López Pita, A.** (2006). *Infraestructuras ferroviarias.* Barcelona: Edicions UPC.
- [13] **Melis Maynar, M., & González Fernández, F. J.** (2008). *Ferrocarriles Metropolitanos. Tranvías, metros ligeros y metros convencionales.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [14] **Metro Ligero Oeste.** (2010). *Reglamento de Circulación.* Madrid.
- [15] **Parsons, B. Q.** (2000). *TCRP Report 57: Track Design Handbook for Light Rail Transit.* Washington: National Academy Press.
- [16] **Ribera, I.** (2014). *Apuntes de la asignatura Elementos de Material Rodante.* Madrid: Máster Sistemas Ferroviarios, ICAI-Universidad Pontificia de Comillas.
- [17] **SENER.** (2004). *Proyecto de construcción de la infraestructura de una nueva línea de Metro Ligero desde Colonia Jardín a Boadilla del Monte.* Madrid.
- [18] **Zamorano, C., Bigas, J. M., & Sastre, J.** (2006). *Manual de tranvías, metros ligeros y sistemas en plataforma reservada. Diseño, proyecto, financiación e implantación.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

14 Anexo 1: Parámetros de trazado

14.1 Trazado ML2 – Vía 1

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide ⁶	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte ⁶ inicial [mm]	Peralte ⁶ final [mm]
32.9	Recta	-	96.6	63.7	3.7	-15.0
96.6	Circular	-1588.1	113.6	17.0	-15.0	-18.3
113.6	Circular	-151.3	182.4	68.8	-18.3	0.9
182.4	Recta	-	322.4	140.0	0.9	-11.4
322.4	Circular	-196.3	386.4	63.9	-11.4	-22.1
386.4	Recta	-	432.0	45.7	-22.1	10.7
432.0	Transición	71.8	468.4	36.4	10.7	44.6
468.4	Circular	141.7	603.6	135.2	44.6	38.3
603.6	Transición	71.8	640.0	36.4	38.3	6.0
640.0	Transición	-76.8	669.6	29.6	6.0	-24.7
669.6	Circular	-199.4	730.0	60.4	-24.7	-21.3
730.0	Transición	-53.3	744.3	14.2	-21.3	-5.3
744.3	Recta	-	983.3	239.0	-5.3	5.5
983.3	Transición	52.1	1004.0	20.7	5.5	44.8
1004.0	Circular	131.4	1050.4	46.4	44.8	41.3
1050.4	Transición	50.8	1070.0	19.6	41.3	3.6
1070.0	Transición	-45.1	1085.7	15.7	3.6	-29.1
1085.7	Circular	-129.8	1134.0	48.3	-29.1	-40.2
1134.0	Transición	-41.2	1147.1	13.1	-40.2	-19.7
1147.1	Recta	-	1388.9	241.8	-19.7	1.0
1388.9	Transición	27.8	1398.8	10.0	1.0	0.0
1398.8	Circular	77.8	1417.6	18.8	0.0	-0.2
1417.6	Circular	-57.6	1432.3	14.7	-0.2	1.1
1432.3	Recta	-	1448.9	16.6	1.1	-1.4
1448.9	Circular	-51.4	1460.0	11.1	-1.4	0.4
1460.0	Circular	98.2	1476.2	16.1	0.4	-1.3
1476.2	Recta	-	1609.3	133.1	-1.3	-6.2
1609.3	Transición	-32.4	1627.2	18.0	-6.2	-25.7
1627.2	Circular	-58.4	1654.1	26.9	-25.7	-30.9
1654.1	Transición	-43.9	1687.2	33.0	-30.9	0.3
1687.2	Transición	40.7	1710.2	23.0	0.3	46.1
1710.2	Circular	71.8	1751.7	41.5	46.1	39.0
1751.7	Transición	26.3	1761.3	9.6	39.0	19.2
1761.3	Recta	-	1834.8	73.5	19.2	3.5
1834.8	Transición	68.7	1846.4	11.5	3.5	14.8

⁶ El criterio usado para la definición del radio de curva, el parámetro de clotoide (A) y el peralte (h) es el siguiente:

- Curvas hacia la derecha (*según sentido creciente del P.K.*) $\rightarrow R > 0$, $A > 0$ y $h > 0$.
- Curvas hacia la izquierda (*según sentido creciente del P.K.*) $\rightarrow R < 0$, $A < 0$ y $h < 0$.

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
1846.4	Circular	410.0	1884.3	37.9	14.8	17.4
1884.3	Transición	74.0	1897.7	13.4	17.4	10.2
1897.7	Recta	-	2354.4	456.7	10.2	-4.9
2354.4	Transición	-13.5	2359.1	4.7	-4.9	-10.5
2359.1	Circular	-38.6	2406.6	47.5	-10.5	-17.7
2406.6	Transición	-20.8	2417.9	11.2	-17.7	2.2
2417.9	Transición	24.0	2427.4	9.5	2.2	12.6
2427.4	Circular	60.5	2442.5	15.1	12.6	16.7
2442.5	Transición	18.5	2448.2	5.7	16.7	4.0
2448.2	Recta	-	2622.0	173.8	4.0	9.3
2622.0	Transición	18.6	2631.5	9.6	9.3	28.3
2631.5	Circular	36.3	2663.7	32.1	28.3	36.2
2663.7	Transición	22.7	2677.8	14.1	36.2	11.3
2677.8	Recta	-	2692.0	14.2	11.3	2.6
2692.0	Circular	-49.4	2701.7	9.8	2.6	0.2
2701.7	Circular	52.5	2714.0	12.2	0.2	3.0
2714.0	Recta	-	2774.9	60.9	3.0	4.5
2774.9	Circular	50.9	2785.4	10.5	4.5	4.8
2785.4	Circular	-49.7	2798.2	12.9	4.8	4.4
2798.2	Recta	-	2829.9	31.7	4.4	-4.4
2829.9	Transición	-38.5	2855.1	25.2	-4.4	-49.3
2855.1	Circular	-59.0	2897.6	42.6	-49.3	-64.3
2897.6	Transición	-33.4	2916.5	18.9	-64.3	-27.7
2916.5	Recta	-	3026.7	110.2	-27.7	-4.9
3026.7	Transición	217.1	3051.3	24.6	-4.9	-1.3
3051.3	Circular	1916.0	3199.2	147.9	-1.3	-2.9
3199.2	Transición	-30.4	3211.1	11.9	-2.9	-17.1
3211.1	Circular	-77.4	3231.8	20.7	-17.1	-21.4
3231.8	Transición	-40.4	3252.8	21.0	-21.4	0.9
3252.8	Transición	37.3	3269.9	17.0	0.9	25.7
3269.9	Circular	81.6	3341.1	71.2	25.7	22.8
3341.1	Transición	29.4	3351.6	10.6	22.8	2.9
3351.6	Transición	-27.4	3359.2	7.5	2.9	-8.3
3359.2	Circular	-99.8	3392.0	32.8	-8.3	-30.4
3392.0	Transición	-41.9	3409.6	17.6	-30.4	0.5
3409.6	Recta	-	3589.2	179.7	0.5	-1.0
3589.2	Circular	1797.8	3633.7	44.5	-1.0	1.9
3633.7	Recta	-	3805.4	171.7	1.9	1.2
3805.4	Transición	126.7	3832.0	26.6	1.2	1.3
3832.0	Circular	603.3	3876.9	44.9	1.3	0.8
3876.9	Transición	98.6	3893.0	16.1	0.8	1.1
3893.0	Transición	-24.0	3906.0	13.0	1.1	-20.2
3906.0	Circular	-44.1	3916.5	10.5	-20.2	-20.7
3916.5	Transición	-19.4	3925.0	8.5	-20.7	-9.9

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
3925.0	Recta	-	3947.0	21.9	-9.9	7.2
3947.0	Transición	15.8	3951.8	4.9	7.2	14.8
3951.8	Circular	51.3	3996.0	44.1	14.8	15.8
3996.0	Transición	21.3	4004.8	8.8	15.8	5.9
4004.8	Transición	-19.3	4011.8	7.0	5.9	-4.4
4011.8	Circular	-53.7	4027.1	15.3	-4.4	-13.5
4027.1	Transición	-17.4	4032.7	5.6	-13.5	-7.1
4032.7	Recta	-	4166.8	134.0	-7.1	2.0
4166.8	Transición	-77.1	4190.7	23.9	2.0	-27.0
4190.7	Circular	-248.1	4254.7	64.0	-27.0	-25.2
4254.7	Transición	-66.5	4272.5	17.8	-25.2	-8.5
4272.5	Recta	-	4380.7	108.2	-8.5	6.6
4380.7	Transición	74.7	4391.8	11.1	6.6	15.0
4391.8	Circular	501.7	4593.3	201.5	15.0	20.0
4593.3	Transición	103.5	4614.6	21.4	20.0	0.6
4614.6	Recta	-	4824.1	209.4	0.6	-20.9
4824.1	Transición	-26.8	4830.1	6.1	-20.9	-30.7
4830.1	Circular	-118.6	4907.8	77.7	-30.7	-51.1
4907.8	Transición	-54.4	4932.8	25.0	-51.1	-3.3
4932.8	Transición	46.0	4967.3	34.4	-3.3	61.4
4967.3	Circular	61.5	5021.0	53.7	61.4	76.4
5021.0	Transición	45.2	5054.3	33.3	76.4	17.9
5054.3	Recta	-	5103.6	49.3	17.9	-0.3
5103.6	Transición	29.6	5127.5	24.0	-0.3	31.8
5127.5	Circular	36.5	5161.9	34.4	31.8	34.8
5161.9	Transición	26.8	5181.6	19.7	34.8	4.2
5181.6	Transición	-60.5	5212.6	31.0	4.2	0.2
5212.6	Circular	-118.4	5275.9	63.3	0.2	-0.1
5275.9	Transición	-53.8	5300.4	24.5	-0.1	0.4
5300.4	Transición	60.3	5307.7	7.3	0.4	1.2
5307.7	Circular	497.1	5397.5	89.8	1.2	-0.8
5397.5	Circular	-103.7	5413.7	16.1	-0.8	-0.6
5413.7	Circular	142.4	5425.7	12.1	-0.6	-0.3
5425.7	Transición	75.5	5465.8	40.0	-0.3	-0.3
5465.8	Recta	-	5511.4	45.6	-0.3	1.0
5511.4	Circular	59.5	5524.1	12.7	1.0	1.8
5524.1	Circular	-102.4	5541.9	17.8	1.8	-1.3
5541.9	Recta	-	5973.1	431.2	-1.3	-2.7
5973.1	Transición	34.6	5987.9	14.8	-2.7	1.1
5987.9	Circular	81.2	6005.8	17.9	1.1	-1.0
6005.8	Transición	21.0	6011.2	5.4	-1.0	-0.3
6011.2	Recta	-	6099.1	87.9	-0.3	-1.1
6099.1	Circular	-202.4	6112.9	13.8	-1.1	12.1
6112.9	Circular	42.0	6153.9	41.0	12.1	18.0

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
6153.9	Transición	22.4	6165.9	12.0	18.0	4.2
6165.9	Transición	-14.8	6171.7	5.8	4.2	-11.8
6171.7	Circular	-37.6	6213.5	41.8	-11.8	-17.1
6213.5	Transición	-15.9	6220.2	6.7	-17.1	-5.1
6220.2	Recta	-	6324.1	103.9	-5.1	13.4
6324.1	Transición	40.4	6332.2	8.1	13.4	27.8
6332.2	Circular	201.7	6447.7	115.6	27.8	16.2
6447.7	Transición	46.0	6458.2	10.5	16.2	3.2
6458.2	Recta	-	6493.4	35.2	3.2	-3.4
6493.4	Transición	-21.8	6498.8	5.4	-3.4	-10.1
6498.8	Circular	-88.2	6567.6	68.9	-10.1	-28.7
6567.6	Transición	-38.4	6584.4	16.7	-28.7	-9.2
6584.4	Recta	-	6699.5	115.1	-9.2	-6.5
6699.5	Transición	-27.3	6711.8	12.3	-6.5	-22.7
6711.8	Circular	-60.5	6732.3	20.5	-22.7	-23.0
6732.3	Transición	-35.4	6753.1	20.7	-23.0	-0.3
6753.1	Recta	-	7078.3	325.3	-0.3	-7.2
7078.3	Transición	-47.5	7089.8	11.5	-7.2	-24.5
7089.8	Circular	-197.0	7187.6	97.8	-24.5	-25.7
7187.6	Transición	-48.9	7199.7	12.1	-25.7	-12.9
7199.7	Recta	-	7236.1	36.4	-12.9	3.5
7236.1	Transición	44.1	7253.8	17.7	3.5	16.7
7253.8	Circular	109.7	7265.6	11.7	16.7	25.8
7265.6	Transición	50.1	7288.4	22.9	25.8	1.1
7288.4	Recta	-	7356.7	68.3	1.1	3.9
7356.7	Circular	107.0	7393.9	37.2	3.9	12.2
7393.9	Recta	-	7637.8	244.0	12.2	-3.9
7637.8	Transición	-65.1	7650.0	12.2	-3.9	-24.1
7650.0	Circular	-348.8	7818.7	168.7	-24.1	-41.7
7818.7	Transición	-106.5	7851.3	32.6	-41.7	1.9
7851.3	Recta	-	7908.6	57.3	1.9	0.3
7908.6	Transición	-25.3	7924.8	16.2	0.3	2.5
7924.8	Circular	-39.5	7939.9	15.0	2.5	1.8
7939.9	Circular	41.2	7957.1	17.2	1.8	1.2
7957.1	Recta	-	8003.1	46.0	1.2	3.3
8003.1	Circular	39.1	8015.5	12.5	3.3	2.5
8015.5	Circular	-72.2	8027.9	12.3	2.5	0.3
8027.9	Transición	-24.3	8036.0	8.2	0.3	4.8
8036.0	Transición	49.4	8053.5	17.5	4.8	30.3
8053.5	Circular	139.5	8121.1	67.6	30.3	26.4
8121.1	Transición	12.1	8122.1	1.0	26.4	26.4
8122.1	Recta	-	8184.3	62.2	26.4	-0.5
8184.3	Transición	31.8	8190.3	6.0	-0.5	5.5
8190.3	Circular	168.2	8230.4	40.1	5.5	0.7

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
8230.4	Transición	19.7	8232.7	2.3	0.7	-1.7
8232.7	Transición	-26.0	8247.7	15.0	-1.7	-22.7
8247.7	Circular	-45.0	8258.1	10.4	-22.7	-21.6
8258.1	Transición	-22.2	8269.0	10.9	-21.6	-6.9
8269.0	Recta	-	8294.2	25.2	-6.9	-2.3
8294.2	Transición	21.0	8302.8	8.6	-2.3	9.7
8302.8	Circular	51.3	8334.6	31.9	9.7	19.7
8334.6	Transición	30.5	8352.8	18.1	19.7	-0.8
8352.8	Recta	-	8374.7	21.9	-0.8	3.7
8374.7	Circular	251.7	8441.9	67.2	3.7	11.7
8441.9	Recta	-	8585.3	143.5	11.7	-1.4
8585.3	Circular	-43.1	8601.2	15.8	-1.4	1.2
8601.2	Circular	41.3	8620.8	19.6	1.2	9.1
8620.8	Recta	-	8671.9	51.1	9.1	-0.9
8671.9	Fin de línea					

14.2 Trazado ML2 – Vía 2

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide ⁷	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte ³ inicial [mm]	Peralte ³ final [mm]
32.9	Recta	-	86.0	53.1	0.0	-5.6
86.0	Circular	47.4	99.8	13.8	1.0	-15.1
99.8	Circular	-60.4	114.0	14.2	0.2	-18.3
114.0	Circular	-153.4	184.4	70.4	-0.1	0.9
184.4	Recta	-	324.1	139.6	0.4	-14.3
324.1	Circular	-200.3	389.2	65.1	-25.0	-19.4
389.2	Recta	-	434.8	45.6	-11.0	11.8
434.8	Transición	72.2	472.5	37.8	19.7	48.1
472.5	Circular	138.2	599.8	127.3	56.4	40.9
599.8	Transición	74.5	640.0	40.2	39.3	6.0
640.0	Transición	-73.4	666.6	26.6	-3.1	-19.2
666.6	Circular	-202.4	730.3	63.7	-23.7	-21.3
730.3	Transición	-56.4	746.1	15.7	-16.6	-5.2
746.1	Recta	-	983.2	237.2	-4.0	5.5
983.2	Transición	55.3	1007.5	24.3	9.7	49.6
1007.5	Circular	125.9	1048.0	40.6	56.0	41.3
1048.0	Transición	52.6	1070.0	22.0	36.4	3.6
1070.0	Transición	-56.3	1094.2	24.2	-7.9	-45.3
1094.2	Circular	-131.1	1130.5	36.3	-53.9	-46.7
1130.5	Transición	-46.5	1147.0	16.5	-43.8	-19.7
1147.0	Recta	-	1388.9	241.9	-10.1	1.0
1388.9	Transición	25.6	1399.5	10.6	-0.4	0.0
1399.5	Circular	61.7	1417.8	18.3	0.2	-0.6
1417.8	Circular	-68.8	1435.4	17.6	1.4	-0.1
1435.4	Recta	-	1448.2	12.8	-0.9	-1.4
1448.2	Circular	-63.7	1460.0	11.8	3.5	0.4
1460.0	Circular	63.1	1475.0	15.0	1.1	-1.3
1475.0	Recta	-	1609.4	134.4	0.7	-6.2
1609.4	Transición	-33.1	1627.1	17.7	-12.9	-25.7
1627.1	Circular	-61.9	1655.5	28.3	-30.4	-30.2
1655.5	Transición	-44.9	1688.0	32.5	-32.6	0.3
1688.0	Transición	37.6	1708.6	20.6	0.3	46.1
1708.6	Circular	68.6	1750.8	42.2	45.4	39.0
1750.8	Transición	27.2	1761.6	10.7	42.0	19.2
1761.6	Recta	-	1837.8	76.2	12.5	8.3
1837.8	Transición	62.9	1847.8	10.0	6.7	17.7
1847.8	Circular	393.9	1889.4	41.5	15.2	12.3

⁷ El criterio usado para la definición del radio de curva, el parámetro de clotoide (A) y el peralte (h) es el siguiente:

- Curvas hacia la derecha (*según sentido creciente del P.K.*) → $R > 0$, $A > 0$ y $h > 0$.
- Curvas hacia la izquierda (*según sentido creciente del P.K.*) → $R < 0$, $A < 0$ y $h < 0$.

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
1889.4	Transición	57.1	1897.6	8.3	12.7	10.2
1897.6	Recta	-	2354.3	456.7	4.6	-4.9
2354.3	Transición	-14.5	2359.4	5.1	-18.1	-10.5
2359.4	Circular	-41.4	2407.9	48.5	-17.6	-13.4
2407.9	Transición	-20.3	2417.9	9.9	-8.1	2.2
2417.9	Transición	23.3	2427.3	9.5	4.1	12.6
2427.3	Circular	57.2	2441.6	14.2	18.5	16.7
2441.6	Transición	19.3	2448.1	6.5	13.6	4.0
2448.1	Recta	-	2621.5	173.4	0.6	9.3
2621.5	Transición	18.1	2631.4	9.9	21.0	28.3
2631.4	Circular	33.1	2660.6	29.3	34.7	36.8
2660.6	Transición	23.7	2677.6	17.0	20.8	11.3
2677.6	Recta	-	2692.1	14.5	0.6	2.6
2692.1	Circular	66.7	2703.0	10.9	0.7	6.0
2703.0	Circular	-53.1	2714.7	11.8	0.0	3.0
2714.7	Recta	-	2775.9	61.2	-0.8	4.5
2775.9	Circular	-56.3	2785.7	9.8	0.6	4.3
2785.7	Circular	55.8	2797.9	12.3	-0.1	4.4
2797.9	Recta	-	2829.9	32.0	3.8	-4.4
2829.9	Transición	-40.2	2856.0	26.1	-9.6	-56.7
2856.0	Circular	-61.9	2899.6	43.6	-62.8	-58.9
2899.6	Transición	-32.4	2916.5	16.9	-62.0	-27.7
2916.5	Recta	-	3027.1	110.5	-26.4	-4.9
3027.1	Transición	-226.8	3051.4	24.4	-1.3	-1.3
3051.4	Circular	2112.1	3198.8	147.4	1.7	-2.9
3198.8	Transición	-31.1	3210.9	12.0	-5.6	-17.1
3210.9	Circular	-80.5	3231.1	20.2	-19.6	-21.4
3231.1	Transición	-41.9	3252.8	21.8	-19.8	0.9
3252.8	Transición	35.0	3268.4	15.6	1.2	25.7
3268.4	Circular	78.5	3337.9	69.5	23.2	27.6
3337.9	Transición	32.1	3351.0	13.1	24.3	2.9
3351.0	Transición	-27.8	3358.5	7.5	-0.5	-8.3
3358.5	Circular	-103.1	3393.2	34.7	-13.7	-30.0
3393.2	Transición	-38.0	3407.1	14.0	-28.3	0.5
3407.1	Recta	-	3579.6	172.4	-7.0	-1.4
3579.6	Circular	1992.0	3639.7	60.2	1.1	-1.6
3639.7	Recta	-	3805.3	165.6	0.4	1.2
3805.3	Transición	110.3	3825.7	20.3	-0.4	0.1
3825.7	Circular	597.9	3874.7	49.0	1.5	-0.8
3874.7	Transición	104.7	3893.0	18.3	0.4	1.1
3893.0	Transición	-24.8	3905.2	12.2	-1.0	-18.8
3905.2	Circular	-50.5	3917.6	12.4	-14.1	-20.7
3917.6	Transición	-19.3	3924.9	7.3	-18.5	-9.9
3924.9	Recta	-	3946.8	21.9	-14.3	7.2

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
3946.8	Transición	13.3	3950.4	3.6	2.6	14.8
3950.4	Circular	48.4	3994.3	43.9	7.3	17.2
3994.3	Transición	22.5	4004.8	10.5	18.2	5.9
4004.8	Transición	-18.9	4011.1	6.3	3.6	-4.4
4011.1	Circular	-57.0	4026.5	15.4	-9.7	-13.5
4026.5	Transición	-19.0	4032.9	6.4	-10.2	-3.3
4032.9	Recta	-	4166.0	133.1	-3.8	2.0
4166.0	Transición	-77.1	4189.4	23.5	1.2	-23.1
4189.4	Circular	-253.0	4253.5	64.0	-21.0	-25.2
4253.5	Transición	-78.6	4277.9	24.4	-25.0	-2.1
4277.9	Recta	-	4364.0	86.1	-3.8	0.1
4364.0	Transición	118.7	4392.2	28.3	0.0	15.0
4392.2	Circular	498.1	4590.8	198.6	18.9	22.3
4590.8	Transición	146.6	4634.0	43.1	21.5	-0.5
4634.0	Recta	-	4795.0	161.0	1.0	-1.9
4795.0	Transición	-74.9	4840.5	45.5	0.7	-53.9
4840.5	Circular	-123.3	4914.6	74.1	-54.4	-36.4
4914.6	Transición	-47.4	4932.8	18.2	-40.6	-3.3
4932.8	Transición	45.9	4968.9	36.1	-6.7	67.3
4968.9	Circular	58.4	5015.4	46.4	64.1	73.9
5015.4	Transición	46.9	5053.1	37.7	74.3	21.8
5053.1	Recta	-	5103.5	50.4	22.8	-0.3
5103.5	Transición	28.7	5128.2	24.7	1.5	33.0
5128.2	Circular	33.3	5159.7	31.4	33.9	34.8
5159.7	Transición	27.0	5181.6	22.0	34.8	4.2
5181.6	Transición	-61.4	5212.7	31.1	1.0	0.2
5212.7	Circular	-121.4	5278.5	65.8	1.3	0.2
5278.5	Transición	-51.5	5300.4	21.8	0.7	0.4
5300.4	Transición	60.7	5307.9	7.5	0.2	1.2
5307.9	Circular	491.6	5394.2	86.3	0.0	-1.6
5394.2	Transición	92.2	5411.5	17.3	1.0	-1.3
5411.5	Transición	-76.0	5421.9	10.4	2.5	-0.1
5421.9	Circular	-552.9	5455.5	33.6	2.0	0.4
5455.5	Transición	-90.8	5470.4	14.9	1.1	-0.3
5470.4	Recta	-	6087.5	617.1	-1.6	1.1
6087.5	Circular	-99.0	6102.1	14.6	-7.6	1.8
6102.1	Transición	-20.4	6106.3	4.2	-6.6	1.1
6106.3	Transición	14.4	6111.7	5.4	-0.1	8.8
6111.7	Circular	38.1	6155.2	43.5	12.7	18.0
6155.2	Transición	20.2	6165.9	10.7	17.8	4.2
6165.9	Transición	-15.4	6171.6	5.8	-6.9	-11.8
6171.6	Circular	-41.2	6211.1	39.5	-15.6	-18.0
6211.1	Transición	-19.2	6220.1	9.0	-15.4	-5.1
6220.1	Recta	-	6319.5	99.4	-6.8	6.4

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
6319.5	Transición	48.2	6331.2	11.7	5.3	27.8
6331.2	Circular	198.1	6445.7	114.5	24.1	19.6
6445.7	Transición	49.7	6458.2	12.5	18.2	3.2
6458.2	Recta	-	6493.5	35.3	2.0	-3.4
6493.5	Transición	-39.1	6510.1	16.7	-4.9	-27.0
6510.1	Circular	-91.5	6570.8	60.7	-25.2	-28.7
6570.8	Transición	-33.6	6583.2	12.3	-25.3	-9.2
6583.2	Recta	-	6699.2	116.1	-8.8	-6.5
6699.2	Transición	-27.3	6710.2	10.9	-3.1	-23.1
6710.2	Circular	-68.3	6735.0	24.8	-18.3	-24.2
6735.0	Transición	-35.2	6753.2	18.2	-19.5	-0.3
6753.2	Recta	-	7078.4	325.2	-0.9	-7.2
7078.4	Transición	-46.8	7089.3	10.9	-9.3	-24.5
7089.3	Circular	-200.9	7191.1	101.8	-23.9	-21.4
7191.1	Transición	-42.1	7199.9	8.8	-25.4	-12.9
7199.9	Recta	-	7236.0	36.1	-15.8	3.5
7236.0	Transición	28.2	7253.0	17.1	0.1	16.7
7253.0	Circular	46.5	7271.7	18.7	20.5	17.9
7271.7	Transición	12.3	7275.0	3.3	13.7	14.3
7275.0	Transición	-15.3	7278.9	3.9	8.1	4.4
7278.9	Circular	-60.0	7290.2	11.3	-0.6	1.1
7290.2	Recta	-	7378.4	88.1	1.4	36.2
7378.4	Transición	9.5	7381.0	2.7	-1.2	36.4
7381.0	Circular	33.8	7389.0	8.0	-0.6	25.7
7389.0	Transición	12.5	7393.6	4.6	1.9	12.2
7393.6	Recta	-	7636.6	243.0	0.3	-3.9
7636.6	Transición	-53.1	7644.5	7.9	-5.2	-10.9
7644.5	Circular	-357.9	7847.0	202.5	-16.1	-6.3
7847.0	Transición	-38.8	7851.2	4.2	-3.8	1.9
7851.2	Recta	-	7918.2	67.0	-4.2	1.2
7918.2	Circular	172.0	7930.0	11.8	-5.4	7.4
7930.0	Circular	120.2	7947.8	17.8	-2.1	3.5
7947.8	Recta	-	8005.3	57.5	-5.1	3.3
8005.3	Circular	-481.7	8020.8	15.5	-1.5	3.3
8020.8	Circular	271.4	8051.7	30.9	-1.2	28.4
8051.7	Circular	138.9	8118.8	67.1	24.5	32.8
8118.8	Transición	16.8	8120.8	2.0	27.4	26.4
8120.8	Recta	-	8182.2	61.3	17.5	-0.6
8182.2	Transición	33.1	8188.8	6.6	-1.7	5.5
8188.8	Circular	166.0	8230.3	41.5	1.6	0.7
8230.3	Transición	20.0	8232.7	2.4	-2.6	-1.7
8232.7	Transición	-26.6	8246.8	14.1	-1.7	-22.7
8246.8	Circular	-50.0	8260.2	13.4	-24.5	-21.6
8260.2	Transición	-20.6	8268.7	8.5	-20.7	-6.9

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
8268.7	Recta	-	8294.4	25.7	-2.3	-2.3
8294.4	Transición	20.3	8303.1	8.7	2.2	9.7
8303.1	Circular	47.6	8331.0	27.9	5.6	18.8
8331.0	Transición	32.4	8353.0	22.1	18.7	-0.8
8353.0	Recta	-	8375.2	22.2	0.5	3.7
8375.2	Circular	245.6	8441.1	65.9	0.7	11.7
8441.1	Recta	-	8584.4	143.3	9.5	-4.5
8584.4	Circular	137.1	8606.4	22.0	-1.9	1.7
8606.4	Recta		8669.1	62.8	-5.6	-0.9
8669.1	Fin de línea				0.0	-5.6

14.3 Trazado ML3 – Vía 1

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide ⁸	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte ⁴ inicial [mm]	Peralte ⁴ final [mm]
32.8	Recta	-	87.1	54.3	0.0	1.6
87.1	Circular	-50.0	98.7	11.5	1.6	0.5
98.7	Circular	62.5	112.7	14.0	0.5	3.2
112.7	Circular	-150.8	159.1	46.3	3.2	0.3
159.1	Transición	-55.7	179.6	20.5	0.3	0.1
179.6	Recta	-	282.4	102.8	0.1	0.2
282.4	Transición	-75.5	298.8	16.4	0.2	-20.9
298.8	Circular	-348.4	695.6	396.8	-20.9	-28.3
695.6	Transición	-67.6	708.7	13.1	-28.3	-3.5
708.7	Recta	-	1131.7	423.0	-3.5	0.9
1131.7	Transición	83.2	1165.9	34.2	0.9	50.3
1165.9	Circular	202.7	1239.5	73.6	50.3	58.7
1239.5	Transición	48.0	1250.8	11.3	58.7	37.7
1250.8	Recta	-	1303.2	52.4	37.7	-0.4
1303.2	Transición	-25.3	1311.8	8.6	-0.4	-20.2
1311.8	Circular	-74.5	1341.2	29.4	-20.2	-22.0
1341.2	Transición	-27.3	1351.2	10.0	-22.0	-3.2
1351.2	Recta	-	1367.6	16.4	-3.2	1.6
1367.6	Transición	23.0	1377.8	10.2	1.6	18.7
1377.8	Circular	51.8	1418.5	40.7	18.7	28.4
1418.5	Transición	20.5	1426.6	8.1	28.4	11.3
1426.6	Recta	-	1447.2	20.6	11.3	-3.0
1447.2	Transición	-17.3	1454.6	7.3	-3.0	-17.5
1454.6	Circular	-40.7	1464.8	10.2	-17.5	-18.4
1464.8	Transición	-18.4	1473.1	8.3	-18.4	-6.0
1473.1	Recta	-	1541.6	68.5	-6.0	0.9
1541.6	Transición	34.5	1550.3	8.8	0.9	3.0
1550.3	Circular	136.0	1570.0	19.6	3.0	9.8
1570.0	Circular	-159.0	1586.2	16.2	9.8	-17.2
1586.2	Transición	-33.1	1593.0	6.9	-17.2	-13.8
1593.0	Recta	-	1899.6	306.6	-13.8	1.7
1899.6	Transición	-30.9	1908.2	8.6	1.7	0.4
1908.2	Circular	-111.0	1926.2	18.0	0.4	-3.8
1926.2	Transición	-18.1	1929.1	2.9	-3.8	1.4
1929.1	Transición	19.1	1932.1	2.9	1.4	-0.7

⁸ El criterio usado para la definición del radio de curva, el parámetro de clotoide (A) y el peralte (h) es el siguiente:

- Curvas hacia la derecha (*según sentido creciente del P.K.*) → $R > 0$, $A > 0$ y $h > 0$.
- Curvas hacia la izquierda (*según sentido creciente del P.K.*) → $R < 0$, $A < 0$ y $h < 0$.

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
1932.1	Circular	123.8	1954.7	22.6	-0.7	0.1
1954.7	Transición	38.4	1966.6	11.9	0.1	3.7
1966.6	Recta	-	2026.6	60.0	3.7	1.6
2026.6	Transición	34.4	2035.9	9.4	1.6	-1.0
2035.9	Circular	125.7	2050.8	14.8	-1.0	1.1
2050.8	Transición	39.6	2063.2	12.5	1.1	-0.8
2063.2	Recta	-	2073.5	10.3	-0.8	-0.3
2073.5	Circular	-129.8	2090.7	17.2	-0.3	-2.4
2090.7	Transición	-39.7	2102.8	12.1	-2.4	-0.5
2102.8	Recta	-	2195.2	92.4	-0.5	0.0
2195.2	Transición	77.7	2207.2	12.0	0.0	-3.1
2207.2	Circular	503.3	2302.5	95.3	-3.1	2.1
2302.5	Transición	92.7	2319.6	17.1	2.1	0.3
2319.6	Recta	-	2439.3	119.7	0.3	-2.0
2439.3	Transición	24.7	2449.3	10.0	-2.0	8.5
2449.3	Circular	61.2	2466.2	16.9	8.5	28.0
2466.2	Transición	30.4	2481.2	15.1	28.0	14.9
2481.2	Recta	-	2499.2	17.9	14.9	-5.1
2499.2	Transición	-28.5	2515.2	16.1	-5.1	-21.3
2515.2	Circular	-50.7	2524.3	9.0	-21.3	-22.6
2524.3	Transición	-27.0	2538.7	14.4	-22.6	-11.1
2538.7	Recta	-	2634.2	95.5	-11.1	0.6
2634.2	Transición	23.9	2643.5	9.3	0.6	8.8
2643.5	Circular	61.5	2733.7	90.2	8.8	23.8
2733.7	Transición	32.4	2750.7	17.0	23.8	-7.6
2750.7	Recta	-	3005.1	254.4	-7.6	-8.9
3005.1	Transición	-29.9	3023.4	18.4	-8.9	-5.8
3023.4	Circular	-48.6	3042.7	19.2	-5.8	-8.6
3042.7	Transición	-31.3	3062.8	20.1	-8.6	-4.9
3062.8	Recta	-	3183.9	121.1	-4.9	-0.3
3183.9	Transición	-46.7	3201.4	17.5	-0.3	-22.4
3201.4	Circular	-124.4	3247.7	46.4	-22.4	-59.3
3247.7	Transición	-69.3	3286.3	38.5	-59.3	-1.7
3286.3	Circular	-9486.8	3502.7	216.5	-1.7	-0.3
3502.7	Transición	-160.0	3545.6	42.9	-0.3	1.2
3545.6	Circular	-596.9	3714.8	169.2	1.2	-2.7
3714.8	Transición	-80.0	3725.6	10.7	-2.7	0.4
3725.6	Transición	29.6	3736.3	10.7	0.4	2.1
3736.3	Circular	81.7	3793.9	57.6	2.1	25.7
3793.9	Transición	44.0	3817.6	23.7	25.7	14.5
3817.6	Recta	-	3926.0	108.4	14.5	1.0

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
3926.0	Transición	-40.7	3947.2	21.2	1.0	-6.4
3947.2	Circular	-78.1	4046.7	99.5	-6.4	-27.0
4046.7	Transición	-25.3	4054.9	8.2	-27.0	-18.5
4054.9	Transición	26.0	4063.2	8.2	-18.5	-0.2
4063.2	Circular	82.2	4110.9	47.7	-0.2	25.6
4110.9	Transición	39.8	4130.2	19.3	25.6	0.1
4130.2	Recta	-	4625.2	495.0	0.1	0.3
4625.2	Circular	-263.2	4656.7	31.5	0.3	-0.8
4656.7	Circular	198.1	4675.9	19.2	-0.8	-1.7
4675.9	Recta	-	4737.9	62.0	-1.7	-0.2
4737.9	Transición	45.9	4747.8	9.9	-0.2	-0.8
4747.8	Circular	212.2	4766.5	18.7	-0.8	0.7
4766.5	Circular	-180.0	4786.0	19.6	0.7	-1.0
4786.0	Transición	-41.1	4795.4	9.4	-1.0	-2.4
4795.4	Recta	-	4923.1	127.6	-2.4	-0.5
4923.1	Circular	75.5	4948.7	25.7	-0.5	1.4
4948.7	Circular	-82.1	4979.7	31.0	1.4	-0.3
4979.7	Recta	-	5117.5	137.7	-0.3	15.3
5117.5	Transición	106.7	5162.6	45.1	15.3	56.7
5162.6	Circular	252.1	5275.9	113.3	56.7	74.1
5275.9	Transición	155.3	5371.7	95.7	74.1	-0.1
5371.7	Recta	-	5434.6	62.9	-0.1	-1.0
5434.6	Transición	96.3	5471.9	37.3	-1.0	-54.0
5471.9	Circular	-248.2	5856.3	384.4	-54.0	1.7
5856.3	Circular	-102.3	5881.2	24.9	1.7	1.0
5881.2	Circular	313.0	5904.5	23.3	1.0	-1.7
5904.5	Recta	-	5982.2	77.7	-1.7	2.2
5982.2	Circular	106.6	5997.1	14.9	2.2	0.2
5997.1	Circular	-167.1	6032.9	35.8	0.2	1.8
6032.9	Recta	-	6060.3	27.4	1.8	5.4
6060.3	Transición	-98.4	6099.4	39.0	5.4	-51.1
6099.4	Circular	-247.9	6175.0	75.6	-51.1	-54.8
6175.0	Transición	-85.8	6204.7	29.7	-54.8	-18.1
6204.7	Recta	-	6341.7	137.0	-18.1	0.2
6341.7	Transición	15.5	6347.5	5.8	0.2	3.4
6347.5	Circular	41.7	6414.0	66.5	3.4	-0.3
6414.0	Transición	20.9	6424.4	10.5	-0.3	0.2
6424.4	Recta	-	6815.8	391.3	0.2	-0.1
6815.8	Transición	32.6	6829.6	13.8	-0.1	6.4
6829.6	Circular	77.1	6870.1	40.6	6.4	0.2
6870.1	Transición	23.5	6877.3	7.2	0.2	-1.4

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
6877.3	Transición	-22.9	6884.5	7.2	-1.4	4.0
6884.5	Circular	-73.3	6910.0	25.5	4.0	-0.4
6910.0	Transición	-43.9	6936.3	26.3	-0.4	-2.5
6936.3	Recta	-	7008.7	72.4	-2.5	-7.8
7008.7	Transición	-102.2	7024.9	16.2	-7.8	-2.6
7024.9	Circular	-644.9	7053.9	29.0	-2.6	-1.7
7053.9	Transición	-105.8	7071.3	17.4	-1.7	-6.5
7071.3	Recta	-	7081.4	10.2	-6.5	-2.4
7081.4	Circular	662.5	7112.3	30.9	-2.4	-0.9
7112.3	Recta	-	7728.7	616.4	-0.9	-1.9
7728.7	Transición	128.7	7745.3	16.5	-1.9	-0.1
7745.3	Circular	1002.2	7996.6	251.3	-0.1	-0.7
7996.6	Transición	137.7	8015.5	18.9	-0.7	0.8
8015.5	Recta	-	8449.0	433.5	0.8	-1.8
8449.0	Transición	-25.1	8468.1	19.1	-1.8	-26.5
8468.1	Circular	-33.0	8484.2	16.1	-26.5	-34.4
8484.2	Transición	-28.5	8508.8	24.6	-34.4	1.3
8508.8	Recta	-	8625.1	116.3	1.3	0.2
8625.1	Transición	-35.8	8631.7	6.6	0.2	-0.7
8631.7	Circular	-196.1	8653.3	21.6	-0.7	2.3
8653.3	Transición	-33.7	8659.1	5.8	2.3	1.2
8659.1	Transición	21.8	8664.9	5.8	1.2	7.2
8664.9	Circular	81.7	8773.4	108.5	7.2	10.6
8773.4	Transición	27.7	8782.8	9.4	10.6	-0.1
8782.8	Recta	-	8863.4	80.5	-0.1	-0.5
8863.4	Transición	34.5	8868.8	5.4	-0.5	-0.4
8868.8	Circular	219.8	8890.9	22.1	-0.4	-0.6
8890.9	Transición	40.1	8898.2	7.3	-0.6	0.6
8898.2	Recta	-	9270.1	371.9	0.6	1.8
9270.1	Transición	-80.4	9295.6	25.5	1.8	-39.3
9295.6	Circular	-252.9	9324.4	28.9	-39.3	-38.3
9324.4	Transición	-61.6	9339.4	15.0	-38.3	-11.9
9339.4	Recta	-	9532.5	193.1	-11.9	0.6
9532.5	Transición	51.3	9547.3	14.8	0.6	17.0
9547.3	Circular	177.8	9593.7	46.4	17.0	32.9
9593.7	Transición	54.8	9610.6	16.9	32.9	-1.5
9610.6	Recta	-	9686.1	75.5	-1.5	0.9
9686.1	Transición	-29.3	9707.3	21.2	0.9	-10.4
9707.3	Circular	-40.7	9720.1	12.8	-10.4	-18.5
9720.1	Transición	-23.7	9733.9	13.8	-18.5	2.1
9733.9	Recta	-	9755.8	21.9	2.1	-3.0

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
9755.8	Transición	45.0	9769.3	13.5	-3.0	15.3
9769.3	Circular	149.6	9791.1	21.7	15.3	19.5
9791.1	Transición	53.5	9810.2	19.1	19.5	-1.2
9810.2	Recta	-	9875.6	65.4	-1.2	-0.6
9875.6	Transición	66.5	9885.0	9.4	-0.6	9.2
9885.0	Circular	470.3	10142.0	257.0	9.2	37.3
10142.0	Circular	44.9	10168.6	26.6	37.3	9.9
10168.6	Recta	-	10202.9	34.3	9.9	2.2
10202.9	Transición	-27.5	10216.9	14.0	2.2	-3.1
10216.9	Circular	-53.9	10240.4	23.5	-3.1	-12.7
10240.4	Transición	-25.8	10252.8	12.3	-12.7	0.2
10252.8	Recta	-	10340.2	87.5	0.2	16.1
10340.2	Transición	35.1	10354.5	14.2	16.1	38.0
10354.5	Circular	86.8	10480.1	125.6	38.0	34.6
10480.1	Transición	41.0	10499.5	19.4	34.6	1.6
10499.5	Recta	-	10514.7	15.2	1.6	3.8
10514.7	Transición	88.1	10528.4	13.7	3.8	-0.7
10528.4	Circular	566.7	10567.4	39.0	-0.7	0.4
10567.4	Recta	-	10585.3	17.9	0.4	0.4
10585.3	Transición	-87.0	10600.2	14.9	0.4	0.8
10600.2	Circular	-507.6	10632.1	31.9	0.8	0.4
10632.1	Transición	-87.4	10647.2	15.1	0.4	-2.8
10647.2	Recta	-	10697.9	50.7	-2.8	1.3
10697.9	Circular	-425.9	10734.4	36.5	1.3	-0.2
10734.4	Recta	-	10759.3	24.9	-0.2	0.1
10759.3	Circular	562.0	10808.0	48.7	0.1	-1.9
10808.0	Recta	-	10816.3	8.3	-1.9	-1.9
10816.3	Transición	-31.3	10833.4	17.1	-1.9	-1.8
10833.4	Circular	-57.4	10847.7	14.3	-1.8	0.5
10847.7	Transición	-30.5	10863.8	16.2	0.5	-1.7
10863.8	Recta	-	10911.2	47.4	-1.7	0.5
10911.2	Transición	-103.2	10954.1	42.9	0.5	-0.8
10954.1	Circular	-248.3	11121.9	167.8	-0.8	-0.8
11121.9	Transición	-105.6	11166.9	44.9	-0.8	-0.3
11166.9	Recta	-	11364.2	197.4	-0.3	-0.5
11364.2	Transición	-41.8	11384.0	19.8	-0.5	-1.7
11384.0	Circular	-88.3	11514.0	130.0	-1.7	0.3
11514.0	Recta	-	11553.9	39.9	0.3	1.1
11553.9	Transición	14.2	11557.8	3.9	1.1	2.2
11557.8	Circular	52.1	11578.6	20.8	2.2	-0.7
11578.6	Circular	-50.2	11603.3	24.7	-0.7	-0.9

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
11603.3	Recta	-	11663.9	60.6	-0.9	-2.6
11663.9	Circular	-48.6	11688.9	24.9	-2.6	-1.3
11688.9	Circular	53.0	11711.5	22.6	-1.3	-4.4
11711.5	Transición	32.5	11731.5	20.0	-4.4	3.5
11731.5	Recta	-	11805.0	73.5	3.5	-0.5
11805.0	Transición	37.1	11827.7	22.7	-0.5	-0.3
11827.7	Circular	60.8	11874.4	46.7	-0.3	0.4
11874.4	Transición	34.7	11894.1	19.7	0.4	-3.2
11894.1	Recta	-	12081.1	187.0	-3.2	-0.2
12081.1	Transición	-72.0	12091.2	10.1	-0.2	-0.3
12091.2	Circular	-514.9	12176.4	85.2	-0.3	3.3
12176.4	Transición	-189.2	12245.9	69.5	3.3	0.4
12245.9	Recta	-	12267.8	21.9	0.4	0.7
12267.8	Circular	-498.8	12300.4	32.6	0.7	0.1
12300.4	Recta	-	12486.0	185.5	0.1	4.7
12486.0	Transición	76.6	12497.7	11.7	4.7	1.5
12497.7	Circular	500.7	12616.1	118.4	1.5	5.7
12616.1	Circular	-755.5	12638.9	22.8	5.7	1.7
12638.9	Recta	-	12654.3	15.4	1.7	2.7
12654.3	Circular	144.7	12680.3	26.0	2.7	-0.6
12680.3	Circular	496.0	12817.7	137.4	-0.6	2.2
12817.7	Transición	-63.2	12843.0	25.3	2.2	2.1
12843.0	Circular	-158.1	12859.8	16.8	2.1	2.6
12859.8	Circular	37.0	12886.4	26.5	2.6	0.0
12886.4	Transición	38.9	12927.4	41.0	0.0	-0.4
12927.4	Recta	-	13299.4	372.0	-0.4	0.1
13299.4	Circular	88.5	13319.7	20.3	0.1	0.5
13319.7	Circular	-85.0	13342.1	22.4	0.5	0.0
13342.1	Recta	-	13378.6	36.5	0.0	-3.7
13378.6	Circular	-49.1	13408.7	30.1	-3.7	1.4
13408.7	Recta	-	13447.8	39.1	1.4	1.5
13447.8	Transición	20.8	13459.6	11.8	1.5	0.0
13459.6	Circular	36.8	13471.2	11.6	0.0	0.0
13471.2	Transición	16.3	13478.4	7.2	0.0	1.2
13478.4	Recta	-	13592.9	114.5	1.2	-0.5
13592.9	Circular	38.4	13604.2	11.4	-0.5	1.1
13604.2	Circular	-53.8	13619.2	15.0	1.1	-1.5
13619.2	Transición	-25.8	13631.6	12.4	-1.5	-0.2
13631.6	Recta	-	13689.4	57.7	-0.2	-1.6
13689.4	Fin de línea					

14.4 Trazado ML3 – Vía 2

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide ⁹	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte ⁵ inicial [mm]	Peralte ⁵ final [mm]
32.8	Recta	-	105.2	72.4	0.7	0.9
105.2	Circular	-153.5	159.9	54.6	-18.8	0.3
159.9	Transición	-55.3	179.8	19.9	-6.6	0.1
179.8	Recta	-	282.4	102.6	-1.1	0.2
282.4	Transición	-75.1	298.4	16.0	0.4	-20.9
298.4	Circular	-351.9	697.4	399.0	-17.9	-25.6
697.4	Transición	-64.7	709.3	11.9	-21.9	-3.5
709.3	Recta	-	1132.8	423.5	-9.2	0.9
1132.8	Transición	81.3	1166.0	33.2	-1.9	50.3
1166.0	Circular	199.1	1237.8	71.8	49.0	63.3
1237.8	Transición	51.0	1250.9	13.0	65.1	37.7
1250.9	Recta	-	1301.8	51.0	37.0	-0.2
1301.8	Transición	-25.2	1310.0	8.1	-3.4	-14.9
1310.0	Circular	-77.9	1341.8	31.9	-15.7	-22.0
1341.8	Transición	-26.0	1350.5	8.7	-27.6	-3.2
1350.5	Recta	-	1368.6	18.0	-5.5	3.2
1368.6	Transición	22.5	1379.1	10.6	1.9	21.3
1379.1	Circular	48.1	1417.9	38.7	20.7	28.4
1417.9	Transición	27.1	1433.1	15.3	28.6	7.2
1433.1	Recta	-	1447.9	14.8	7.6	-3.0
1447.9	Transición	-16.9	1455.2	7.3	-6.3	-17.5
1455.2	Circular	-39.3	1465.2	10.0	-17.3	-17.1
1465.2	Transición	-17.4	1472.9	7.7	-20.0	-6.0
1472.9	Recta	-	1542.3	69.5	-7.5	0.9
1542.3	Transición	32.4	1550.3	7.9	1.4	3.0
1550.3	Circular	132.7	1570.0	19.7	0.0	9.8
1570.0	Circular	-166.9	1585.4	15.4	10.5	-17.2
1585.4	Transición	-35.3	1592.9	7.5	-15.3	-13.8
1592.9	Recta	-	1899.6	306.7	-15.1	1.7
1899.6	Transición	-31.7	1908.3	8.8	-1.2	0.4
1908.3	Circular	-114.5	1927.5	19.1	2.4	-2.3
1927.5	Transición	-19.6	1930.8	3.4	3.1	-0.7
1930.8	Transición	19.7	1934.2	3.4	2.1	0.3
1934.2	Circular	115.8	1953.6	19.4	1.7	-0.1
1953.6	Transición	41.9	1968.7	15.1	2.8	1.3

⁹ El criterio usado para la definición del radio de curva, el parámetro de clotoide (A) y el peralte (h) es el siguiente:

- Curvas hacia la derecha (*según sentido creciente del P.K.*) → $R > 0$, $A > 0$ y $h > 0$.
- Curvas hacia la izquierda (*según sentido creciente del P.K.*) → $R < 0$, $A < 0$ y $h < 0$.

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
1968.7	Recta	-	2026.3	57.6	1.7	0.1
2026.3	Transición	38.1	2037.9	11.6	1.4	-0.4
2037.9	Circular	125.7	2049.2	11.4	0.7	1.6
2049.2	Transición	42.5	2063.6	14.4	3.1	-0.8
2063.6	Recta	-	2073.4	9.9	-1.7	-0.3
2073.4	Circular	-134.5	2091.2	17.8	1.0	-2.4
2091.2	Transición	-39.7	2102.9	11.7	0.3	-0.5
2102.9	Recta	-	2195.3	92.3	-1.0	0.0
2195.3	Transición	96.0	2208.8	13.5	1.3	-3.1
2208.8	Circular	680.8	2306.9	98.1	-0.5	0.4
2306.9	Transición	93.7	2319.8	12.9	1.1	0.3
2319.8	Recta	-	2437.0	117.3	0.1	-1.0
2437.0	Transición	26.0	2448.3	11.2	-1.4	8.5
2448.3	Circular	60.1	2465.6	17.4	9.5	28.0
2465.6	Transición	30.5	2481.1	15.5	27.7	14.9
2481.1	Recta	-	2498.7	17.6	18.6	-5.1
2498.7	Transición	-28.3	2514.5	15.8	0.7	-21.3
2514.5	Circular	-50.7	2524.0	9.5	-18.4	-21.8
2524.0	Transición	-27.2	2538.5	14.5	-21.9	-11.1
2538.5	Recta	-	2634.9	96.4	-12.5	0.7
2634.9	Transición	22.4	2643.5	8.6	-3.0	8.8
2643.5	Circular	58.5	2728.8	85.3	0.4	21.7
2728.8	Transición	35.3	2750.1	21.3	22.3	-7.6
2750.1	Recta	-	3005.2	255.1	3.8	-8.9
3005.2	Transición	-30.8	3023.2	18.0	-7.2	-5.8
3023.2	Circular	-52.7	3045.2	22.0	-3.9	-10.0
3045.2	Transición	-30.5	3062.8	17.7	-3.1	-4.9
3062.8	Recta	-	3183.7	120.8	-1.1	-0.3
3183.7	Transición	-46.5	3200.5	16.9	-1.4	-22.4
3200.5	Circular	-128.6	3249.0	48.5	-29.7	-54.3
3249.0	Transición	-69.3	3286.3	37.3	-52.3	-1.7
3286.3	Circular	-9609.1	3514.5	228.2	1.8	0.5
3514.5	Transición	-134.9	3544.8	30.3	-1.0	1.1
3544.8	Circular	-600.4	3716.3	171.5	2.4	-2.3
3716.3	Transición	-77.9	3726.4	10.1	-0.9	0.4
3726.4	Transición	28.1	3736.5	10.1	2.0	2.1
3736.5	Circular	78.3	3792.7	56.2	8.1	25.7
3792.7	Transición	43.2	3816.6	23.8	29.8	14.5
3816.6	Recta	-	3925.9	109.3	12.3	1.0
3925.9	Transición	-40.9	3946.4	20.5	1.9	-4.1
3946.4	Circular	-81.7	4048.0	101.6	-6.5	-27.0

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
4048.0	Transición	-27.1	4057.0	9.0	-26.5	-8.8
4057.0	Transición	26.5	4066.0	9.0	-15.2	4.3
4066.0	Circular	78.2	4110.9	44.9	-1.1	25.6
4110.9	Transición	38.8	4130.2	19.3	26.2	0.1
4130.2	Recta	-	4625.2	495.0	-1.4	0.3
4625.2	Circular	-248.7	4655.1	29.9	0.2	-0.7
4655.1	Recta	-	4656.8	1.7	-1.1	-0.8
4656.8	Circular	199.1	4675.9	19.2	0.2	-1.7
4675.9	Recta	-	4738.0	62.1	6.0	-0.2
4738.0	Transición	45.7	4747.9	9.9	2.6	-0.8
4747.9	Circular	210.6	4766.1	18.2	1.1	0.9
4766.1	Circular	-183.8	4786.7	20.6	2.6	-1.6
4786.7	Transición	-40.8	4795.7	9.0	1.2	0.1
4795.7	Recta	-	4922.6	126.9	1.8	-0.5
4922.6	Circular	73.2	4947.9	25.3	2.8	0.8
4947.9	Circular	-93.1	4979.3	31.4	-0.3	-0.3
4979.3	Recta	-	5117.1	137.8	0.2	15.3
5117.1	Transición	106.4	5162.7	45.6	14.7	56.7
5162.7	Circular	248.3	5274.2	111.5	56.4	72.3
5274.2	Transición	155.5	5371.6	97.3	71.3	-0.1
5371.6	Recta	-	5434.5	62.9	10.3	-1.0
5434.5	Transición	-95.8	5471.0	36.5	1.5	-54.0
5471.0	Circular	-251.3	5855.4	384.4	-51.1	1.7
5855.4	Circular	-4770.3	5881.0	25.7	-0.6	1.0
5881.0	Circular	-219.6	5908.8	27.8	1.4	0.3
5908.8	Recta	-	5980.9	72.2	2.3	2.2
5980.9	Circular	-113.0	5999.4	18.5	-0.5	0.1
5999.4	Circular	162.6	6033.5	34.1	-0.3	1.8
6033.5	Recta	-	6060.2	26.7	0.2	-0.1
6060.2	Transición	-98.7	6098.9	38.8	3.2	-51.1
6098.9	Circular	-251.4	6176.0	77.1	-50.1	-54.8
6176.0	Transición	-84.4	6204.4	28.4	-57.3	-18.1
6204.4	Recta	-	6341.6	137.2	-20.9	0.2
6341.6	Transición	20.4	6352.5	10.9	0.4	2.9
6352.5	Circular	38.2	6411.1	58.6	2.9	0.2
6411.1	Transición	22.6	6424.5	13.3	2.6	0.2
6424.5	Recta	-	6815.9	391.4	0.6	-0.1
6815.9	Transición	29.9	6828.1	12.2	0.5	6.4
6828.1	Circular	73.7	6867.2	39.2	-0.9	-0.6
6867.2	Transición	32.3	6881.4	14.2	-2.8	-4.6
6881.4	Transición	-33.0	6895.6	14.2	-0.5	-1.0

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
6895.6	Circular	-76.9	6922.2	26.6	-3.4	3.7
6922.2	Transición	-33.3	6936.6	14.4	0.1	-2.5
6936.6	Recta	-	7008.1	71.5	6.3	-7.8
7008.1	Transición	-105.5	7025.1	16.9	-1.1	-2.6
7025.1	Circular	-657.1	7054.1	29.0	0.1	-1.7
7054.1	Transición	-106.3	7071.3	17.2	0.5	-6.5
7071.3	Recta	-	7081.5	10.2	2.1	-2.4
7081.5	Circular	632.8	7110.6	29.1	1.5	-0.9
7110.6	Recta	-	7728.5	617.9	-0.2	-1.9
7728.5	Transición	141.8	7748.7	20.2	-0.5	-0.1
7748.7	Circular	997.9	7995.8	247.1	2.3	-0.7
7995.8	Transición	148.3	8017.9	22.1	0.6	0.8
8017.9	Recta	-	8444.5	426.7	-2.0	-1.0
8444.5	Transición	-28.9	8467.4	22.8	1.3	-26.5
8467.4	Circular	-36.7	8489.4	22.0	-26.2	-32.3
8489.4	Transición	-31.5	8516.5	27.1	-31.9	-0.1
8516.5	Recta	-	8620.9	104.4	5.7	-0.4
8620.9	Transición	-48.7	8632.5	11.6	3.1	-0.7
8632.5	Circular	-204.6	8654.5	22.0	0.1	3.2
8654.5	Transición	-41.5	8662.9	8.4	0.0	5.2
8662.9	Transición	25.6	8671.3	8.4	2.0	18.1
8671.3	Circular	78.2	8777.2	106.0	16.9	7.3
8777.2	Transición	20.8	8782.8	5.5	2.7	-0.1
8782.8	Recta	-	8863.3	80.5	1.7	-0.5
8863.3	Transición	34.5	8868.8	5.5	1.3	-0.4
8868.8	Circular	216.3	8890.5	21.7	2.4	-0.6
8890.5	Transición	40.5	8898.1	7.6	-0.5	0.6
8898.1	Recta	-	9270.0	371.9	0.7	1.8
9270.0	Transición	-80.6	9295.5	25.5	0.8	-39.3
9295.5	Circular	-255.1	9324.4	28.9	-33.9	-38.3
9324.4	Transición	-58.2	9337.7	13.3	-36.0	-16.1
9337.7	Recta	-	9534.2	196.5	-18.0	0.6
9534.2	Transición	44.1	9545.5	11.3	1.1	10.9
9545.5	Circular	172.2	9592.3	46.8	5.6	32.9
9592.3	Transición	56.2	9610.6	18.3	29.4	-1.5
9610.6	Recta	-	9691.3	80.7	4.0	-1.7
9691.3	Transición	-25.3	9707.1	15.7	0.1	-10.4
9707.1	Circular	-40.7	9720.7	13.6	-22.7	-18.5
9720.7	Transición	-23.4	9734.2	13.5	-18.4	2.1
9734.2	Recta	-	9756.0	21.8	-0.1	-3.0
9756.0	Transición	42.8	9769.2	13.2	1.4	15.3

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
9769.2	Circular	138.7	9789.0	19.8	16.1	18.1
9789.0	Transición	54.0	9810.0	21.0	21.2	-1.2
9810.0	Recta	-	9875.5	65.5	1.8	-0.6
9875.5	Transición	69.3	9885.8	10.3	2.7	21.9
9885.8	Circular	466.7	10140.3	254.5	22.1	39.5
10140.3	Circular	40.6	10165.3	25.0	41.1	22.5
10165.3	Recta	-	10201.0	35.7	18.5	2.2
10201.0	Transición	-32.6	10216.7	15.7	1.0	-3.1
10216.7	Circular	-68.0	10241.7	25.0	-6.9	-12.7
10241.7	Transición	-27.4	10252.7	11.0	-16.8	0.2
10252.7	Recta	-	10337.0	84.3	2.1	8.1
10337.0	Transición	38.0	10354.3	17.3	5.6	36.3
10354.3	Circular	83.2	10475.7	121.4	32.7	39.4
10475.7	Transición	44.7	10499.7	24.0	39.3	1.6
10499.7	Recta	-	10514.5	14.9	0.6	3.8
10514.5	Transición	101.2	10532.7	18.2	-0.8	2.0
10532.7	Circular	564.2	10567.2	34.5	0.9	0.4
10567.2	Transición	96.3	10583.6	16.4	1.0	1.4
10583.6	Transición	-91.7	10600.0	16.4	0.1	0.8
10600.0	Circular	-512.0	10632.0	32.0	0.9	0.4
10632.0	Transición	-88.2	10647.2	15.2	1.5	-2.8
10647.2	Recta	-	10698.2	51.0	1.2	1.3
10698.2	Circular	-443.1	10734.5	36.3	2.0	-0.2
10734.5	Recta	-	10759.4	24.9	6.7	0.1
10759.4	Circular	561.9	10808.9	49.5	1.3	-1.0
10808.9	Recta	-	10816.6	7.7	1.0	-1.9
10816.6	Transición	-30.0	10833.9	17.3	0.7	-1.8
10833.9	Circular	-52.0	10849.4	15.5	0.8	3.7
10849.4	Transición	-27.6	10864.0	14.7	2.8	-1.7
10864.0	Recta	-	10912.0	48.0	1.4	0.5
10912.0	Transición	-103.2	10954.2	42.2	-1.8	-0.8
10954.2	Circular	-252.0	11123.8	169.6	0.4	1.7
11123.8	Transición	-104.2	11166.9	43.1	4.2	-0.3
11166.9	Recta	-	11363.9	197.0	0.2	-0.5
11363.9	Transición	-42.6	11383.7	19.8	2.4	-1.7
11383.7	Circular	-91.8	11518.4	134.7	3.2	-0.7
11518.4	Recta	-	11556.7	38.3	3.7	2.2
11556.7	Transición	8.3	11558.1	1.4	2.2	2.2
11558.1	Circular	48.8	11576.7	18.6	2.2	-0.3
11576.7	Circular	-54.0	11603.5	26.7	-0.5	-0.9
11603.5	Recta	-	11664.0	60.5	2.5	-2.6

P.K. Inicio	Alineación	Radio / Parámetro de clotoide	P.K. Final	Longitud tramo [m]	Peralte inicial [mm]	Peralte final [mm]
11664.0	Circular	-51.7	11690.4	26.4	-0.3	-1.3
11690.4	Circular	50.0	11712.2	21.7	0.5	-4.4
11712.2	Transición	31.1	11731.5	19.4	0.0	3.5
11731.5	Recta	-	11805.2	73.7	2.3	-0.5
11805.2	Transición	22.7	11813.9	8.7	-0.6	0.8
11813.9	Circular	59.3	11858.4	44.5	1.4	3.0
11858.4	Transición	32.5	11876.2	17.8	-0.4	0.4
11876.2	Recta	-	12066.9	190.7	0.8	0.6
12066.9	Transición	-133.9	12100.0	33.1	-4.1	0.8
12100.0	Circular	-541.8	12178.7	78.7	2.1	3.3
12178.7	Transición	-190.9	12245.9	67.2	1.7	0.4
12245.9	Recta	-	12267.7	21.7	1.8	0.7
12267.7	Circular	-492.0	12300.4	32.7	1.5	0.1
12300.4	Recta	-	12486.3	185.9	0.3	4.7
12486.3	Transición	77.6	12498.4	12.1	-0.4	1.5
12498.4	Circular	496.6	12615.2	116.8	-1.3	0.1
12615.2	Transición	106.1	12637.8	22.7	-0.4	1.7
12637.8	Recta	-	12667.4	29.5	-0.4	6.2
12667.4	Transición	121.2	12695.6	28.2	-0.4	0.2
12695.6	Circular	520.7	12816.8	121.3	-0.4	0.2
12816.8	Transición	106.0	12838.4	21.6	-0.4	0.2
12838.4	Transición	-27.9	12860.0	21.6	-0.4	0.2
12860.0	Circular	-36.1	12885.4	25.4	-0.4	0.2
12885.4	Transición	-40.1	12930.0	44.6	-0.4	0.2
12930.0	Recta	-	13297.6	367.6	-0.4	0.2
13297.6	Circular	-81.2	13315.0	17.5	-0.4	0.2
13315.0	Circular	119.5	13338.3	23.3	-0.4	0.2
13338.3	Recta	-	13378.2	39.9	-0.4	0.2
13378.2	Circular	-52.5	13411.1	32.9	-0.4	0.2
13411.1	Recta	-	13453.4	42.4	-0.4	0.2
13453.4	Transición	14.1	13459.4	5.9	-0.4	0.2
13459.4	Circular	33.3	13472.9	13.6	-0.4	0.2
13472.9	Transición	15.3	13480.0	7.1	-0.4	0.2
13480.0	Recta	-	13592.5	112.5	-0.4	0.2
13592.5	Circular	34.4	13603.2	10.6	-0.4	0.2
13603.2	Circular	-53.6	13619.1	15.9	-0.4	0.2
13619.1	Transición	-25.8	13631.5	12.4	-0.4	0.2
13631.5	Recta	-	13689.9	58.4	-0.4	0.2
13689.9	Fin de línea					

15 Anexo 2: Velocidades máximas calculadas por tramo

15.1 Velocidades máximas por tramo en ML2 – Vía 1

P.K. Inicio	Alineación	P.K. Final	Velocidades máximas teóricas por tipo de restricción				Velocidad máxima teórica en tramo [km/h]
			Velocidad máxima de paso por curva	Velocidad máxima paso por curva en ausencia de curva de transición	Velocidad máxima en curva de transición por variación de peralte	Velocidad máxima por jerk	
32.9	Recta	96.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
96.6	Circular	113.6	42.5	-	N/A	79.6	42.5
113.6	Circular	182.4	38.9	-	N/A	57.9	38.9
182.4	Recta	322.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
322.4	Circular	386.4	45.0	-	N/A	61.6	45.0
386.4	Recta	432.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
432.0	Transición	468.4	N/A	-	135.3	45.8	45.8
468.4	Circular	603.6	40.7	-	N/A	71.0	40.7
603.6	Transición	640.0	N/A	-	142.3	45.8	45.8
640.0	Transición	669.6	N/A	-	121.3	47.9	47.9
669.6	Circular	730.0	45.8	-	N/A	60.8	45.8
730.0	Transición	744.3	N/A	-	112.1	37.6	37.6
744.3	Recta	983.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
983.3	Transición	1004.0	N/A	-	66.2	37.0	37.0
1004.0	Circular	1050.4	39.6	-	N/A	48.5	39.6
1050.4	Transición	1070.0	N/A	-	65.5	36.4	36.4
1070.0	Transición	1085.7	N/A	-	60.5	33.6	33.6
1085.7	Circular	1134.0	39.2	-	N/A	48.9	39.2
1134.0	Transición	1147.1	N/A	-	80.2	31.6	31.6
1147.1	Recta	1388.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1388.9	Transición	1398.8	N/A	-	1177.8	24.4	24.4
1398.8	Circular	1417.6	25.6	-	N/A	30.1	25.6
1417.6	Circular	1432.3	22.1	20.0	N/A	25.1	20.0
1432.3	Recta	1448.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1448.9	Circular	1460.0	21.0	-	N/A	22.0	21.0
1460.0	Circular	1476.2	28.6	20.0	N/A	30.9	20.0
1476.2	Recta	1609.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1609.3	Transición	1627.2	N/A	-	116.3	27.0	27.0
1627.2	Circular	1654.1	25.4	-	N/A	30.8	25.4
1654.1	Transición	1687.2	N/A	-	133.3	33.0	33.0
1687.2	Transición	1710.2	N/A	-	63.3	31.4	31.4
1710.2	Circular	1751.7	29.1	-	N/A	38.2	29.1

1751.7	Transición	1761.3	N/A	-	61.0	23.4	23.4
1761.3	Recta	1834.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1834.8	Transición	1846.4	N/A	-	128.0	44.5	44.5
1846.4	Circular	1884.3	63.0	-	N/A	66.2	63.0
1884.3	Transición	1897.7	N/A	-	236.5	46.8	46.8
1897.7	Recta	2354.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2354.4	Transición	2359.1	N/A	-	107.5	15.0	15.0
2359.1	Circular	2406.6	19.6	-	N/A	32.5	19.6
2406.6	Transición	2417.9	N/A	-	71.4	20.1	20.1
2417.9	Transición	2427.4	N/A	-	114.7	22.1	22.1
2427.4	Circular	2442.5	24.0	-	N/A	25.7	24.0
2442.5	Transición	2448.2	N/A	-	56.4	18.6	18.6
2448.2	Recta	2622.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2622.0	Transición	2631.5	N/A	-	63.4	18.6	18.6
2631.5	Circular	2663.7	19.8	-	N/A	27.9	19.8
2663.7	Transición	2677.8	N/A	-	71.7	21.2	21.2
2677.8	Recta	2692.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2692.0	Circular	2701.7	20.4	-	N/A	20.8	20.4
2701.7	Circular	2714.0	21.0	20.0	N/A	22.9	20.0
2714.0	Recta	2774.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2774.9	Circular	2785.4	21.2	-	N/A	21.5	21.2
2785.4	Circular	2798.2	20.0	20.0	N/A	22.9	20.0
2798.2	Recta	2829.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2829.9	Transición	2855.1	N/A	-	70.6	30.3	30.3
2855.1	Circular	2897.6	28.6	-	N/A	36.0	28.6
2897.6	Transición	2916.5	N/A	-	65.1	27.5	27.5
2916.5	Recta	3026.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3026.7	Transición	3051.3	N/A	-	858.4	95.8	95.8
3051.3	Circular	3199.2	125.2	-	N/A	174.2	125.2
3199.2	Transición	3211.1	N/A	-	105.8	25.8	25.8
3211.1	Circular	3231.8	28.2	-	N/A	31.0	28.2
3231.8	Transición	3252.8	N/A	-	118.7	31.2	31.2
3252.8	Transición	3269.9	N/A	-	86.5	29.6	29.6
3269.9	Circular	3341.1	29.1	-	N/A	47.7	29.1
3341.1	Transición	3351.6	N/A	-	67.0	25.3	25.3
3351.6	Transición	3359.2	N/A	-	85.3	24.1	24.1
3359.2	Circular	3392.0	33.2	-	N/A	39.4	33.2
3392.0	Transición	3409.6	N/A	-	71.7	32.0	32.0
3409.6	Recta	3589.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3589.2	Circular	3633.7	111.2	-	N/A	114.3	111.2
3633.7	Recta	3805.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3805.4	Transición	3832.0	N/A	-	75663.5	66.9	66.9
3832.0	Circular	3876.9	71.6	-	N/A	79.6	71.6

3876.9	Transición	3893.0	N/A	-	6801.2	56.6	56.6
3893.0	Transición	3906.0	N/A	-	77.1	22.1	22.1
3906.0	Circular	3916.5	21.2	-	N/A	20.5	20.5
3916.5	Transición	3925.0	N/A	-	98.9	19.1	19.1
3925.0	Recta	3947.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3947.0	Transición	3951.8	N/A	-	81.9	16.7	16.7
3951.8	Circular	3996.0	22.3	-	N/A	34.8	22.3
3996.0	Transición	4004.8	N/A	-	112.6	20.4	20.4
4004.8	Transición	4011.8	N/A	-	84.9	19.1	19.1
4011.8	Circular	4027.1	22.7	-	N/A	24.9	22.7
4027.1	Transición	4032.7	N/A	-	109.6	17.8	17.8
4032.7	Recta	4166.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4166.8	Transición	4190.7	N/A	-	103.8	48.0	48.0
4190.7	Circular	4254.7	51.6	-	N/A	66.7	51.6
4254.7	Transición	4272.5	N/A	-	134.7	43.5	43.5
4272.5	Recta	4380.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4380.7	Transición	4391.8	N/A	-	166.9	47.1	47.1
4391.8	Circular	4593.3	69.8	-	N/A	123.6	69.8
4593.3	Transición	4614.6	N/A	-	139.1	58.5	58.5
4614.6	Recta	4824.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4824.1	Transición	4830.1	N/A	-	78.5	23.8	23.8
4830.1	Circular	4907.8	38.9	-	N/A	55.6	38.9
4907.8	Transición	4932.8	N/A	-	65.8	38.1	38.1
4932.8	Transición	4967.3	N/A	-	67.1	34.1	34.1
4967.3	Circular	5021.0	29.0	-	N/A	39.5	29.0
5021.0	Transición	5054.3	N/A	-	71.6	33.7	33.7
5054.3	Recta	5103.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5103.6	Transición	5127.5	N/A	-	94.2	25.4	25.4
5127.5	Circular	5161.9	20.2	-	N/A	28.6	20.2
5161.9	Transición	5181.6	N/A	-	81.1	23.8	23.8
5181.6	Transición	5212.6	N/A	-	986.3	40.9	40.9
5212.6	Circular	5275.9	31.6	-	N/A	51.9	31.6
5275.9	Transición	5300.4	N/A	-	7033.9	37.8	37.8
5300.4	Transición	5307.7	N/A	-	1049.4	40.8	40.8
5307.7	Circular	5397.5	64.5	-	N/A	94.1	64.5
5397.5	Circular	5413.7	29.7	-	N/A	31.5	29.7
5413.7	Circular	5425.7	30.2	-	N/A	31.8	30.2
5425.7	Transición	5465.8	N/A	-	406652.6	47.4	47.4
5465.8	Recta	5511.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5511.4	Circular	5524.1	22.5	-	N/A	24.2	22.5
5524.1	Circular	5541.9	29.6	20.0	N/A	32.4	20.0
5541.9	Recta	5973.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5973.1	Transición	5987.9	N/A	-	486.9	28.2	28.2

5987.9	Circular	6005.8	26.0	-	N/A	30.0	26.0
6005.8	Transición	6011.2	N/A	-	954.0	20.2	20.2
6011.2	Recta	6099.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6099.1	Circular	6112.9	34.6	-	N/A	37.4	34.6
6112.9	Circular	6153.9	19.9	20.0	N/A	31.8	19.9
6153.9	Transición	6165.9	N/A	-	109.7	21.1	21.1
6165.9	Transición	6171.7	N/A	-	45.8	16.0	16.0
6171.7	Circular	6213.5	19.3	-	N/A	30.9	19.3
6213.5	Transición	6220.2	N/A	-	70.3	16.7	16.7
6220.2	Recta	6324.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6324.1	Transición	6332.2	N/A	-	70.9	31.2	31.2
6332.2	Circular	6447.7	44.5	-	N/A	75.8	44.5
6447.7	Transición	6458.2	N/A	-	101.1	34.0	34.0
6458.2	Recta	6493.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6493.4	Transición	6498.8	N/A	-	101.6	20.7	20.7
6498.8	Circular	6567.6	31.0	-	N/A	48.4	31.0
6567.6	Transición	6584.4	N/A	-	108.4	30.2	30.2
6584.4	Recta	6699.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6699.5	Transición	6711.8	N/A	-	95.8	24.1	24.1
6711.8	Circular	6732.3	25.1	-	N/A	28.5	25.1
6732.3	Transición	6753.1	N/A	-	115.1	28.6	28.6
6753.1	Recta	7078.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7078.3	Transición	7089.8	N/A	-	83.3	34.8	34.8
7089.8	Circular	7187.6	45.7	-	N/A	71.1	45.7
7187.6	Transición	7199.7	N/A	-	120.0	35.5	35.5
7199.7	Recta	7236.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7236.1	Transición	7253.8	N/A	-	169.7	33.1	33.1
7253.8	Circular	7265.6	29.3	-	N/A	28.9	28.9
7265.6	Transición	7288.4	N/A	-	116.9	36.0	36.0
7288.4	Recta	7356.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7356.7	Circular	7393.9	30.6	-	N/A	42.0	30.6
7393.9	Recta	7637.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7637.8	Transición	7650.0	N/A	-	75.7	42.9	42.9
7650.0	Circular	7818.7	64.6	-	N/A	103.2	64.6
7818.7	Transición	7851.3	N/A	-	94.1	59.6	59.6
7851.3	Recta	7908.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7908.6	Transición	7924.8	N/A	-	891.3	22.9	22.9
7924.8	Circular	7939.9	18.1	-	N/A	22.3	18.1
7939.9	Circular	7957.1	18.7	20.0	N/A	23.7	18.7
7957.1	Recta	8003.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8003.1	Circular	8015.5	18.4	-	N/A	20.9	18.4
8015.5	Circular	8027.9	24.6	20.0	N/A	25.5	20.0
8027.9	Transición	8036.0	N/A	-	229.9	22.3	22.3

8036.0	Transición	8053.5	N/A	-	86.3	35.7	35.7
8053.5	Circular	8121.1	38.6	-	N/A	56.0	38.6
8121.1	Transición	8122.1	N/A	-	N/A	14.0	14.0
8122.1	Recta	8184.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8184.3	Transición	8190.3	N/A	-	128.2	26.6	26.6
8190.3	Circular	8230.4	37.8	-	N/A	50.1	37.8
8230.4	Transición	8232.7	N/A	-	121.5	19.4	19.4
8232.7	Transición	8247.7	N/A	-	90.1	23.3	23.3
8247.7	Circular	8258.1	21.6	-	N/A	20.6	20.6
8258.1	Transición	8269.0	N/A	-	93.5	20.9	20.9
8269.0	Recta	8294.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8294.2	Transición	8302.8	N/A	-	90.2	20.2	20.2
8302.8	Circular	8334.6	21.8	-	N/A	31.2	21.8
8334.6	Transición	8352.8	N/A	-	111.4	25.9	25.9
8352.8	Recta	8374.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8374.7	Circular	8441.9	46.9	-	N/A	68.1	46.9
8441.9	Recta	8585.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8585.3	Circular	8601.2	19.2	-	N/A	23.4	19.2
8601.2	Circular	8620.8	18.8	20.0	N/A	24.7	18.8
8620.8	Recta	8671.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8671.9	Fin de línea						

15.2 Velocidades máximas por tramo en ML2 – Vía 2

P.K. Inicio	Alineación	P.K. Final	Velocidades máximas teóricas por tipo de restricción				Velocidad máxima teórica en tramo [km/h]
			Velocidad máxima de paso por curva	Velocidad máxima paso por curva en ausencia de curva de transición	Velocidad máxima en curva de transición por variación de peralte	Velocidad máxima por jerk	
32.9	Recta	86.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
86.0	Circular	99.8	18.4	20.0	N/A	23.0	18.4
99.8	Circular	114.0	24.6	20.0	N/A	25.2	20.0
114.0	Circular	184.4	36.0	-	N/A	58.6	36.0
184.4	Recta	324.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
324.1	Circular	389.2	46.0	-	N/A	62.4	46.0
389.2	Recta	434.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
434.8	Transición	472.5	N/A	-	167.4	46.0	46.0
472.5	Circular	599.8	40.6	-	N/A	69.0	40.6
599.8	Transición	640.0	N/A	-	152.1	47.0	47.0
640.0	Transición	666.6	N/A	-	207.7	46.5	46.5
666.6	Circular	730.3	46.0	-	N/A	62.2	46.0
730.3	Transición	746.1	N/A	-	173.6	39.0	39.0
746.1	Recta	983.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
983.2	Transición	1007.5	N/A	-	76.6	38.5	38.5
1007.5	Circular	1048.0	38.8	-	N/A	45.7	38.8
1048.0	Transición	1070.0	N/A	-	84.3	37.2	37.2
1070.0	Transición	1094.2	N/A	-	81.6	39.0	39.0
1094.2	Circular	1130.5	41.3	-	N/A	44.6	41.3
1130.5	Transición	1147.0	N/A	-	86.1	34.3	34.3
1147.0	Recta	1388.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1388.9	Transición	1399.5	N/A	-	3963.2	23.0	23.0
1399.5	Circular	1417.8	22.7	20.0	N/A	27.6	20.0
1417.8	Circular	1435.4	24.1	-	N/A	28.3	24.1
1435.4	Recta	1448.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1448.2	Circular	1460.0	23.1	20.0	N/A	24.1	20.0
1460.0	Circular	1475.0	22.9	-	N/A	26.0	22.9
1475.0	Recta	1609.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1609.4	Transición	1627.1	N/A	-	174.2	27.3	27.3
1627.1	Circular	1655.5	26.1	-	N/A	32.0	26.1
1655.5	Transición	1688.0	N/A	-	124.3	33.5	33.5
1688.0	Transición	1708.6	N/A	-	56.6	29.8	29.8
1708.6	Circular	1750.8	28.4	-	N/A	37.8	28.4
1750.8	Transición	1761.6	N/A	-	59.3	24.0	24.0
1761.6	Recta	1837.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta

1837.8	Transición	1847.8	N/A	-	115.1	42.0	42.0
1847.8	Circular	1889.4	61.1	-	N/A	67.3	61.1
1889.4	Transición	1897.6	N/A	-	423.8	39.3	39.3
1897.6	Recta	2354.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2354.3	Transición	2359.4	N/A	-	83.7	15.8	15.8
2359.4	Circular	2407.9	20.3	-	N/A	33.5	20.3
2407.9	Transición	2417.9	N/A	-	121.4	19.7	19.7
2417.9	Transición	2427.3	N/A	-	139.3	21.6	21.6
2427.3	Circular	2441.6	23.7	-	N/A	24.8	23.7
2441.6	Transición	2448.1	N/A	-	86.2	19.1	19.1
2448.1	Recta	2621.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2621.5	Transición	2631.4	N/A	-	170.5	18.3	18.3
2631.4	Circular	2660.6	19.4	-	N/A	26.3	19.4
2660.6	Transición	2677.6	N/A	-	227.4	21.9	21.9
2677.6	Recta	2692.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2692.1	Circular	2703.0	23.8	20.0	N/A	23.8	20.0
2703.0	Circular	2714.7	21.2	-	N/A	22.7	21.2
2714.7	Recta	2775.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2775.9	Circular	2785.7	21.7	20.0	N/A	21.7	20.0
2785.7	Circular	2797.9	21.7	-	N/A	23.4	21.7
2797.9	Recta	2829.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2829.9	Transición	2856.0	N/A	-	70.0	31.1	31.1
2856.0	Circular	2899.6	29.2	-	N/A	36.9	29.2
2899.6	Transición	2916.5	N/A	-	62.2	26.9	26.9
2916.5	Recta	3027.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3027.1	Transición	3051.4	N/A	-	65545.8	98.7	98.7
3051.4	Circular	3198.8	131.4	-	N/A	179.8	131.4
3198.8	Transición	3210.9	N/A	-	131.5	26.3	26.3
3210.9	Circular	3231.1	28.7	-	N/A	31.2	28.7
3231.1	Transición	3252.8	N/A	-	132.9	32.0	32.0
3252.8	Transición	3268.4	N/A	-	80.0	28.4	28.4
3268.4	Circular	3337.9	28.6	-	N/A	46.7	28.6
3337.9	Transición	3351.0	N/A	-	77.2	26.8	26.8
3351.0	Transición	3358.5	N/A	-	121.9	24.3	24.3
3358.5	Circular	3393.2	33.6	-	N/A	40.5	33.6
3393.2	Transición	3407.1	N/A	-	61.2	30.0	30.0
3407.1	Recta	3579.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3579.6	Circular	3639.7	128.5	-	N/A	130.8	128.5
3639.7	Recta	3805.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3805.3	Transición	3825.7	N/A	-	5906.9	61.0	61.0
3825.7	Circular	3874.7	70.7	-	N/A	81.8	70.7
3874.7	Transición	3893.0	N/A	-	3735.7	58.9	58.9
3893.0	Transición	3905.2	N/A	-	86.5	22.6	22.6

3905.2	Circular	3917.6	22.7	-	N/A	22.7	22.7
3917.6	Transición	3924.9	N/A	-	107.3	19.1	19.1
3924.9	Recta	3946.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3946.8	Transición	3950.4	N/A	-	37.8	14.9	14.9
3950.4	Circular	3994.3	20.9	-	N/A	34.1	20.9
3994.3	Transición	4004.8	N/A	-	106.8	21.1	21.1
4004.8	Transición	4011.1	N/A	-	99.1	18.8	18.8
4011.1	Circular	4026.5	23.4	-	N/A	25.4	23.4
4026.5	Transición	4032.9	N/A	-	115.7	18.9	18.9
4032.9	Recta	4166.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4166.0	Transición	4189.4	N/A	-	121.5	48.0	48.0
4189.4	Circular	4253.5	51.7	-	N/A	67.1	51.7
4253.5	Transición	4277.9	N/A	-	134.4	48.7	48.7
4277.9	Recta	4364.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4364.0	Transición	4392.2	N/A	-	237.3	64.0	64.0
4392.2	Circular	4590.8	70.7	-	N/A	122.7	70.7
4590.8	Transición	4634.0	N/A	-	246.8	73.7	73.7
4634.0	Recta	4795.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4795.0	Transición	4840.5	N/A	-	105.1	47.1	47.1
4840.5	Circular	4914.6	40.1	-	N/A	55.4	40.1
4914.6	Transición	4932.8	N/A	-	61.5	34.8	34.8
4932.8	Transición	4968.9	N/A	-	61.5	34.0	34.0
4968.9	Circular	5015.4	28.5	-	N/A	37.0	28.5
5015.4	Transición	5053.1	N/A	-	90.6	34.5	34.5
5053.1	Recta	5103.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5103.5	Transición	5128.2	N/A	-	98.8	24.9	24.9
5128.2	Circular	5159.7	19.4	-	N/A	26.9	19.4
5159.7	Transición	5181.6	N/A	-	90.5	23.9	23.9
5181.6	Transición	5212.7	N/A	-	4920.9	41.3	41.3
5212.7	Circular	5278.5	32.0	-	N/A	53.0	32.0
5278.5	Transición	5300.4	N/A	-	7710.4	36.7	36.7
5300.4	Transición	5307.9	N/A	-	919.8	41.0	41.0
5307.9	Circular	5394.2	63.8	-	N/A	92.5	63.8
5394.2	Transición	5411.5	N/A	-	974.6	54.1	54.1
5411.5	Transición	5421.9	N/A	-	506.1	47.6	47.6
5421.9	Circular	5455.5	68.1	-	N/A	70.2	68.1
5455.5	Transición	5470.4	N/A	-	1385.1	53.6	53.6
5470.4	Recta	6087.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6087.5	Circular	6102.1	30.0	-	N/A	30.0	30.0
6102.1	Transición	6106.3	N/A	-	69.5	19.8	19.8
6106.3	Transición	6111.7	N/A	-	76.5	15.7	15.7
6111.7	Circular	6155.2	19.0	-	N/A	31.4	19.0
6155.2	Transición	6165.9	N/A	-	98.9	19.6	19.6

6165.9	Transición	6171.6	N/A	-	150.7	16.4	16.4
6171.6	Circular	6211.1	20.3	-	N/A	31.2	20.3
6211.1	Transición	6220.1	N/A	-	109.3	19.0	19.0
6220.1	Recta	6319.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6319.5	Transición	6331.2	N/A	-	65.6	35.1	35.1
6331.2	Circular	6445.7	44.7	-	N/A	75.1	44.7
6445.7	Transición	6458.2	N/A	-	105.0	35.9	35.9
6458.2	Recta	6493.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6493.5	Transición	6510.1	N/A	-	95.2	30.5	30.5
6510.1	Circular	6570.8	31.5	-	N/A	47.0	31.5
6570.8	Transición	6583.2	N/A	-	96.6	27.6	27.6
6583.2	Recta	6699.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6699.2	Transición	6710.2	N/A	-	69.1	24.1	24.1
6710.2	Circular	6735.0	26.8	-	N/A	31.6	26.8
6735.0	Transición	6753.2	N/A	-	119.8	28.5	28.5
6753.2	Recta	7078.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7078.4	Transición	7089.3	N/A	-	90.2	34.5	34.5
7089.3	Circular	7191.1	45.9	-	N/A	72.5	45.9
7191.1	Transición	7199.9	N/A	-	89.6	32.1	32.1
7199.9	Recta	7236.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7236.0	Transición	7253.0	N/A	-	129.6	24.6	24.6
7253.0	Circular	7271.7	21.5	-	N/A	25.3	21.5
7271.7	Transición	7275.0	N/A	-	603.8	14.1	14.1
7275.0	Transición	7278.9	N/A	-	132.0	16.3	16.3
7278.9	Circular	7290.2	22.6	-	N/A	23.3	22.6
7290.2	Recta	7378.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7378.4	Transición	7381.0	N/A	-	8.9	11.9	8.9
7381.0	Circular	7389.0	16.8	-	N/A	17.2	16.8
7389.0	Transición	7393.6	N/A	-	56.3	14.3	14.3
7393.6	Recta	7636.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7636.6	Transición	7644.5	N/A	-	175.5	37.5	37.5
7644.5	Circular	7847.0	59.2	-	N/A	110.6	59.2
7847.0	Transición	7851.2	N/A	-	93.5	30.4	30.4
7851.2	Recta	7918.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7918.2	Circular	7930.0	29.5	-	N/A	33.6	29.5
7930.0	Circular	7947.8	31.5	-	N/A	34.2	31.5
7947.8	Recta	8005.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8005.3	Circular	8020.8	38.7	-	N/A	51.8	38.7
8020.8	Circular	8051.7	47.5	-	N/A	53.9	47.5
8051.7	Circular	8118.8	38.2	-	N/A	55.8	38.2
8118.8	Transición	8120.8	N/A	-	247.3	17.4	17.4
8120.8	Recta	8182.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8182.2	Transición	8188.8	N/A	-	115.7	27.4	27.4

8188.8	Circular	8230.3	37.5	-	N/A	50.5	37.5
8230.3	Transición	8232.7	N/A	-	328.6	19.5	19.5
8232.7	Transición	8246.8	N/A	-	85.0	23.6	23.6
8246.8	Circular	8260.2	22.9	-	N/A	23.2	22.9
8260.2	Transición	8268.7	N/A	-	77.6	19.9	19.9
8268.7	Recta	8294.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8294.4	Transición	8303.1	N/A	-	147.3	19.8	19.8
8303.1	Circular	8331.0	20.6	-	N/A	29.2	20.6
8331.0	Transición	8353.0	N/A	-	142.3	27.0	27.0
8353.0	Recta	8375.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8375.2	Circular	8441.1	45.7	-	N/A	67.1	45.7
8441.1	Recta	8584.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8584.4	Circular	8606.4	33.7	-	N/A	38.3	33.7
8606.4	Recta	8669.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8669.1	Fin de línea						

15.3 Velocidades máximas por tramo en ML3 – Vía 1

P.K. Inicio	Alineación	P.K. Final	Velocidades máximas teóricas por tipo de restricción				Velocidad máxima teórica en tramo [km/h]
			Velocidad máxima de paso por curva	Velocidad máxima paso por curva en ausencia de curva de transición	Velocidad máxima en curva de transición por variación de peralte	Velocidad máxima por jerk	
32.8	Recta	87.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
87.1	Circular	98.7	20.5	-	N/A	22.1	20.5
98.7	Circular	112.7	23.0	20.0	N/A	25.4	20.0
112.7	Circular	159.1	35.6	-	N/A	50.7	35.6
159.1	Transición	179.6	N/A	-	11512.6	38.7	38.7
179.6	Recta	282.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
282.4	Transición	298.8	N/A	-	97.4	47.4	47.4
298.8	Circular	695.6	61.4	-	N/A	137.2	61.4
695.6	Transición	708.7	N/A	-	66.7	44.0	44.0
708.7	Recta	1131.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1131.7	Transición	1165.9	N/A	-	87.1	50.6	50.6
1165.9	Circular	1239.5	50.8	-	N/A	65.3	50.8
1239.5	Transición	1250.8	N/A	-	68.1	35.0	35.0
1250.8	Recta	1303.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1303.2	Transición	1311.8	N/A	-	54.8	22.9	22.9
1311.8	Circular	1341.2	27.7	-	N/A	34.5	27.7
1341.2	Transición	1351.2	N/A	-	66.7	24.0	24.0
1351.2	Recta	1367.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1367.6	Transición	1377.8	N/A	-	75.4	21.4	21.4
1377.8	Circular	1418.5	22.8	-	N/A	34.0	22.8
1418.5	Transición	1426.6	N/A	-	59.6	19.9	19.9
1426.6	Recta	1447.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1447.2	Transición	1454.6	N/A	-	63.7	17.7	17.7
1454.6	Circular	1464.8	20.2	-	N/A	19.8	19.8
1464.8	Transición	1473.1	N/A	-	84.8	18.5	18.5
1473.1	Recta	1541.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1541.6	Transición	1550.3	N/A	-	538.4	28.1	28.1
1550.3	Circular	1570.0	34.4	-	N/A	36.8	34.4
1570.0	Circular	1586.2	39.7	-	N/A	36.4	36.4
1586.2	Transición	1593.0	N/A	-	256.9	27.3	27.3
1593.0	Recta	1899.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1899.6	Transición	1908.2	N/A	-	829.1	26.1	26.1
1908.2	Circular	1926.2	31.2	-	N/A	33.4	31.2
1926.2	Transición	1929.1	N/A	-	70.9	18.3	18.3
1929.1	Transición	1932.1	N/A	-	177.7	18.9	18.9

1932.1	Circular	1954.7	32.2	-	N/A	37.4	32.2
1954.7	Transición	1966.6	N/A	-	418.7	30.2	30.2
1966.6	Recta	2026.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2026.6	Transición	2035.9	N/A	-	465.1	28.0	28.0
2035.9	Circular	2050.8	32.4	-	N/A	32.7	32.4
2050.8	Transición	2063.2	N/A	-	858.3	30.8	30.8
2063.2	Recta	2073.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2073.5	Circular	2090.7	33.5	-	N/A	34.7	33.5
2090.7	Transición	2102.8	N/A	-	831.3	30.9	30.9
2102.8	Recta	2195.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2195.2	Transición	2207.2	N/A	-	495.8	48.3	48.3
2207.2	Circular	2302.5	64.1	-	N/A	96.4	64.1
2302.5	Transición	2319.6	N/A	-	1254.9	54.3	54.3
2319.6	Recta	2439.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2439.3	Transición	2449.3	N/A	-	119.2	22.5	22.5
2449.3	Circular	2466.2	23.7	-	N/A	26.8	23.7
2466.2	Transición	2481.2	N/A	-	145.7	25.8	25.8
2481.2	Recta	2499.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2499.2	Transición	2515.2	N/A	-	124.9	24.8	24.8
2515.2	Circular	2524.3	22.6	-	N/A	20.5	20.5
2524.3	Transición	2538.7	N/A	-	157.4	23.9	23.9
2538.7	Recta	2634.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2634.2	Transición	2643.5	N/A	-	143.5	22.0	22.0
2643.5	Circular	2733.7	23.8	-	N/A	47.0	23.8
2733.7	Transición	2750.7	N/A	-	68.3	26.9	26.9
2750.7	Recta	3005.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3005.1	Transición	3023.4	N/A	-	744.7	25.5	25.5
3023.4	Circular	3042.7	21.1	-	N/A	25.9	21.1
3042.7	Transición	3062.8	N/A	-	687.2	26.3	26.3
3062.8	Recta	3183.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3183.9	Transición	3201.4	N/A	-	99.7	34.4	34.4
3201.4	Circular	3247.7	41.0	-	N/A	47.6	41.0
3247.7	Transición	3286.3	N/A	-	84.2	44.7	44.7
3286.3	Circular	3502.7	285.1	-	N/A	337.1	285.1
3502.7	Transición	3545.6	N/A	-	3687.9	78.2	78.2
3545.6	Circular	3714.8	71.9	-	N/A	123.5	71.9
3714.8	Transición	3725.6	N/A	-	444.4	49.2	49.2
3725.6	Transición	3736.3	N/A	-	781.6	25.4	25.4
3736.3	Circular	3793.9	26.5	-	N/A	44.5	26.5
3793.9	Transición	3817.6	N/A	-	267.0	33.1	33.1
3817.6	Recta	3926.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3926.0	Transición	3947.2	N/A	-	358.8	31.4	31.4
3947.2	Circular	4046.7	29.0	-	N/A	52.5	29.0

4046.7	Transición	4054.9	N/A	-	121.8	22.9	22.9
4054.9	Transición	4063.2	N/A	-	56.3	23.3	23.3
4063.2	Circular	4110.9	26.3	-	N/A	41.8	26.3
4110.9	Transición	4130.2	N/A	-	95.5	30.9	30.9
4130.2	Recta	4625.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4625.2	Circular	4656.7	47.3	-	N/A	53.7	47.3
4656.7	Circular	4675.9	40.5	-	N/A	41.4	40.5
4675.9	Recta	4737.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4737.9	Transición	4747.8	N/A	-	2215.3	34.0	34.0
4747.8	Circular	4766.5	42.1	-	N/A	42.0	42.0
4766.5	Circular	4786.0	39.1	-	N/A	40.4	39.1
4786.0	Transición	4795.4	N/A	-	848.0	31.6	31.6
4795.4	Recta	4923.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4923.1	Circular	4948.7	25.2	-	N/A	33.1	25.2
4948.7	Circular	4979.7	26.3	20.0	N/A	36.2	20.0
4979.7	Recta	5117.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5117.5	Transición	5162.6	N/A	-	137.2	59.7	59.7
5162.6	Circular	5275.9	57.8	-	N/A	81.1	57.8
5275.9	Transición	5371.7	N/A	-	162.4	76.7	76.7
5371.7	Recta	5434.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5434.6	Transición	5471.9	N/A	-	88.7	55.7	55.7
5471.9	Circular	5856.3	56.9	-	N/A	121.2	56.9
5856.3	Circular	5881.2	29.2	-	N/A	36.2	29.2
5881.2	Circular	5904.5	50.9	-	N/A	51.4	50.9
5904.5	Recta	5982.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5982.2	Circular	5997.1	30.0	-	N/A	30.9	30.0
5997.1	Circular	6032.9	37.5	-	N/A	48.2	37.5
6032.9	Recta	6060.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6060.3	Transición	6099.4	N/A	-	87.0	56.5	56.5
6099.4	Circular	6175.0	57.0	-	N/A	70.5	57.0
6175.0	Transición	6204.7	N/A	-	101.9	51.6	51.6
6204.7	Recta	6341.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6341.7	Transición	6347.5	N/A	-	223.5	16.5	16.5
6347.5	Circular	6414.0	18.7	-	N/A	37.3	18.7
6414.0	Transición	6424.4	N/A	-	2451.5	20.1	20.1
6424.4	Recta	6815.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6815.8	Transición	6829.6	N/A	-	267.6	27.1	27.1
6829.6	Circular	6870.1	25.5	-	N/A	38.8	25.5
6870.1	Transición	6877.3	N/A	-	533.6	21.8	21.8
6877.3	Transición	6884.5	N/A	-	164.4	21.4	21.4
6884.5	Circular	6910.0	24.9	-	N/A	32.7	24.9
6910.0	Transición	6936.3	N/A	-	1594.4	33.0	33.0
6936.3	Recta	7008.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta

7008.7	Transición	7024.9	N/A	-	394.9	58.0	58.0
7024.9	Circular	7053.9	72.6	-	N/A	70.4	70.4
7053.9	Transición	7071.3	N/A	-	461.4	59.3	59.3
7071.3	Recta	7081.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7081.4	Circular	7112.3	73.8	-	N/A	72.5	72.5
7112.3	Recta	7728.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7728.7	Transición	7745.3	N/A	-	1162.1	67.6	67.6
7745.3	Circular	7996.6	91.6	-	N/A	167.5	91.6
7996.6	Transición	8015.5	N/A	-	1616.2	70.7	70.7
8015.5	Recta	8449.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8449.0	Transición	8468.1	N/A	-	97.4	22.7	22.7
8468.1	Circular	8484.2	19.4	-	N/A	21.5	19.4
8484.2	Transición	8508.8	N/A	-	87.1	24.8	24.8
8508.8	Recta	8625.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8625.1	Transición	8631.7	N/A	-	871.8	28.8	28.8
8631.7	Circular	8653.3	40.8	-	N/A	42.9	40.8
8653.3	Transición	8659.1	N/A	-	668.5	27.7	27.7
8659.1	Transición	8664.9	N/A	-	122.8	20.7	20.7
8664.9	Circular	8773.4	27.2	-	N/A	54.9	27.2
8773.4	Transición	8782.8	N/A	-	110.0	24.3	24.3
8782.8	Recta	8863.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8863.4	Transición	8868.8	N/A	-	13155.9	28.1	28.1
8868.8	Circular	8890.9	42.9	-	N/A	44.9	42.9
8890.9	Transición	8898.2	N/A	-	815.1	31.1	31.1
8898.2	Recta	9270.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9270.1	Transición	9295.6	N/A	-	78.4	49.4	49.4
9295.6	Circular	9324.4	54.6	-	N/A	51.4	51.4
9324.4	Transición	9339.4	N/A	-	71.4	41.4	41.4
9339.4	Recta	9532.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9532.5	Transición	9547.3	N/A	-	113.6	36.6	36.6
9547.3	Circular	9593.7	41.9	-	N/A	53.6	41.9
9593.7	Transición	9610.6	N/A	-	62.0	38.3	38.3
9610.6	Recta	9686.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9686.1	Transición	9707.3	N/A	-	236.2	25.2	25.2
9707.3	Circular	9720.1	20.2	-	N/A	21.4	20.2
9720.1	Transición	9733.9	N/A	-	84.6	21.9	21.9
9733.9	Recta	9755.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9755.8	Transición	9769.3	N/A	-	93.0	33.5	33.5
9769.3	Circular	9791.1	38.2	-	N/A	39.3	38.2
9791.1	Transición	9810.2	N/A	-	116.1	37.6	37.6
9810.2	Recta	9875.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9875.6	Transición	9885.0	N/A	-	120.3	43.6	43.6
9885.0	Circular	10142.0	65.8	-	N/A	131.2	65.8

10142.0	Circular	10168.6	20.4	-	N/A	28.1	20.4
10168.6	Recta	10202.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10202.9	Transición	10216.9	N/A	-	334.4	24.2	24.2
10216.9	Circular	10240.4	22.6	-	N/A	28.7	22.6
10240.4	Transición	10252.8	N/A	-	120.3	23.1	23.1
10252.8	Recta	10340.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10340.2	Transición	10354.5	N/A	-	82.1	28.5	28.5
10354.5	Circular	10480.1	31.4	-	N/A	58.8	31.4
10480.1	Transición	10499.5	N/A	-	74.1	31.6	31.6
10499.5	Recta	10514.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10514.7	Transición	10528.4	N/A	-	383.9	52.5	52.5
10528.4	Circular	10567.4	68.8	-	N/A	74.5	68.8
10567.4	Recta	10585.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10585.3	Transición	10600.2	N/A	-	5353.2	52.1	52.1
10600.2	Circular	10632.1	65.3	-	N/A	67.1	65.3
10632.1	Transición	10647.2	N/A	-	586.5	52.3	52.3
10647.2	Recta	10697.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10697.9	Circular	10734.4	60.0	-	N/A	66.2	60.0
10734.4	Recta	10759.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10759.3	Circular	10808.0	68.2	-	N/A	79.9	68.2
10808.0	Recta	10816.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10816.3	Transición	10833.4	N/A	-	12804.9	26.4	26.4
10833.4	Circular	10847.7	22.2	-	N/A	24.8	22.2
10847.7	Transición	10863.8	N/A	-	931.3	25.9	25.9
10863.8	Recta	10911.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10911.2	Transición	10954.1	N/A	-	4256.2	58.4	58.4
10954.1	Circular	11121.9	45.9	-	N/A	92.0	45.9
11121.9	Transición	11166.9	N/A	-	12011.4	59.3	59.3
11166.9	Recta	11364.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11364.2	Transición	11384.0	N/A	-	2026.8	32.0	32.0
11384.0	Circular	11514.0	27.5	-	N/A	59.8	27.5
11514.0	Recta	11553.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11553.9	Transición	11557.8	N/A	-	439.8	15.5	15.5
11557.8	Circular	11578.6	20.9	-	N/A	27.2	20.9
11578.6	Circular	11603.3	20.7	20.0	N/A	28.5	20.0
11603.3	Recta	11663.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11663.9	Circular	11688.9	20.5	-	N/A	28.3	20.5
11688.9	Circular	11711.5	20.7	20.0	N/A	28.2	20.0
11711.5	Transición	11731.5	N/A	-	318.8	27.0	27.0
11731.5	Recta	11805.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11805.0	Transición	11827.7	N/A	-	20700.8	29.5	29.5
11827.7	Circular	11874.4	22.6	-	N/A	37.6	22.6
11874.4	Transición	11894.1	N/A	-	677.8	28.2	28.2

11894.1	Recta	12081.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12081.1	Transición	12091.2	N/A	-	15692.4	45.9	45.9
12091.2	Circular	12176.4	66.0	-	N/A	93.5	66.0
12176.4	Transición	12245.9	N/A	-	3019.0	87.4	87.4
12245.9	Recta	12267.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12267.8	Circular	12300.4	64.8	-	N/A	67.2	64.8
12300.4	Recta	12486.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12486.0	Transición	12497.7	N/A	-	458.2	47.8	47.8
12497.7	Circular	12616.1	65.4	-	N/A	103.4	65.4
12616.1	Circular	12638.9	56.9	-	N/A	68.5	56.9
12638.9	Recta	12654.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12654.3	Circular	12680.3	34.8	-	N/A	41.3	34.8
12680.3	Circular	12817.7	64.5	-	N/A	108.3	64.5
12817.7	Transición	12843.0	N/A	-	63580.5	42.1	42.1
12843.0	Circular	12859.8	36.1	-	N/A	36.7	36.1
12859.8	Circular	12886.4	17.7	20.0	N/A	26.4	17.7
12886.4	Transición	12927.4	N/A	-	14043.1	30.5	30.5
12927.4	Recta	13299.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13299.4	Circular	13319.7	27.3	-	N/A	32.2	27.3
13319.7	Circular	13342.1	26.8	-	N/A	32.9	26.8
13342.1	Recta	13378.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13378.6	Circular	13408.7	20.7	-	N/A	30.2	20.7
13408.7	Recta	13447.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13447.8	Transición	13459.6	N/A	-	960.0	20.1	20.1
13459.6	Circular	13471.2	17.6	-	N/A	20.0	17.6
13471.2	Transición	13478.4	N/A	-	760.0	17.0	17.0
13478.4	Recta	13592.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13592.9	Circular	13604.2	17.9	-	N/A	20.1	17.9
13604.2	Circular	13619.2	21.5	20.0	N/A	24.7	20.0
13619.2	Transición	13631.6	N/A	-	1189.3	23.2	23.2
13631.6	Recta	13689.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13689.4	Fin de línea						

15.4 Velocidades máximas por tramo en ML3 – Vía 2

P.K. Inicio	Alineación	P.K. Final	Velocidades máximas teóricas por tipo de restricción				Velocidad máxima teórica en tramo [km/h]
			Velocidad máxima de paso por curva	Velocidad máxima paso por curva en ausencia de curva de transición	Velocidad máxima en curva de transición por variación de peralte	Velocidad máxima por jerk	
32.8	Recta	105.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
105.2	Circular	159.9	39.2	-	N/A	53.9	39.2
159.9	Transición	179.8	N/A	-	375.8	38.5	38.5
179.8	Recta	282.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
282.4	Transición	298.4	N/A	-	94.5	47.2	47.2
298.4	Circular	697.4	61.1	-	N/A	137.9	61.1
697.4	Transición	709.3	N/A	-	81.3	42.7	42.7
709.3	Recta	1132.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1132.8	Transición	1166.0	N/A	-	80.0	49.8	49.8
1166.0	Circular	1237.8	50.1	-	N/A	64.4	50.1
1237.8	Transición	1250.9	N/A	-	59.9	36.5	36.5
1250.9	Recta	1301.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1301.8	Transición	1310.0	N/A	-	89.3	22.8	22.8
1310.0	Circular	1341.8	28.3	-	N/A	35.9	28.3
1341.8	Transición	1350.5	N/A	-	44.9	23.3	23.3
1350.5	Recta	1368.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1368.6	Transición	1379.1	N/A	-	68.7	21.2	21.2
1379.1	Circular	1417.9	22.1	-	N/A	32.6	22.1
1417.9	Transición	1433.1	N/A	-	89.7	23.9	23.9
1433.1	Recta	1447.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1447.9	Transición	1455.2	N/A	-	82.1	17.5	17.5
1455.2	Circular	1465.2	19.7	-	N/A	19.4	19.4
1465.2	Transición	1472.9	N/A	-	69.4	17.8	17.8
1472.9	Recta	1542.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1542.3	Transición	1550.3	N/A	-	624.1	27.0	27.0
1550.3	Circular	1570.0	33.4	-	N/A	36.6	33.4
1570.0	Circular	1585.4	38.5	-	N/A	36.3	36.3
1585.4	Transición	1592.9	N/A	-	660.0	28.6	28.6
1592.9	Recta	1899.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
1899.6	Transición	1908.3	N/A	-	685.0	26.6	26.6
1908.3	Circular	1927.5	31.4	-	N/A	34.5	31.4
1927.5	Transición	1930.8	N/A	-	110.9	19.3	19.3
1930.8	Transición	1934.2	N/A	-	231.7	19.4	19.4
1934.2	Circular	1953.6	31.2	-	N/A	34.7	31.2
1953.6	Transición	1968.7	N/A	-	1211.7	32.0	32.0

1968.7	Recta	2026.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2026.3	Transición	2037.9	N/A	-	803.1	30.1	30.1
2037.9	Circular	2049.2	28.4	-	N/A	29.9	28.4
2049.2	Transición	2063.6	N/A	-	468.6	32.3	32.3
2063.6	Recta	2073.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2073.4	Circular	2091.2	34.1	-	N/A	35.5	34.1
2091.2	Transición	2102.9	N/A	-	1804.3	30.9	30.9
2102.9	Recta	2195.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2195.3	Transición	2208.8	N/A	-	387.4	55.6	55.6
2208.8	Circular	2306.9	75.5	-	N/A	107.6	75.5
2306.9	Transición	2319.8	N/A	-	2227.1	54.7	54.7
2319.8	Recta	2437.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2437.0	Transición	2448.3	N/A	-	142.4	23.3	23.3
2448.3	Circular	2465.6	23.6	-	N/A	26.9	23.6
2465.6	Transición	2481.1	N/A	-	153.0	25.9	25.9
2481.1	Recta	2498.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2498.7	Transición	2514.5	N/A	-	90.4	24.6	24.6
2514.5	Circular	2524.0	22.8	-	N/A	20.8	20.8
2524.0	Transición	2538.5	N/A	-	169.3	24.0	24.0
2538.5	Recta	2634.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
2634.9	Transición	2643.5	N/A	-	91.7	21.1	21.1
2643.5	Circular	2728.8	22.2	-	N/A	45.3	22.2
2728.8	Transición	2750.1	N/A	-	89.6	28.5	28.5
2750.1	Recta	3005.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3005.2	Transición	3023.2	N/A	-	1553.3	26.1	26.1
3023.2	Circular	3045.2	22.1	-	N/A	27.9	22.1
3045.2	Transición	3062.8	N/A	-	1265.8	25.9	25.9
3062.8	Recta	3183.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3183.7	Transición	3200.5	N/A	-	101.1	34.3	34.3
3200.5	Circular	3249.0	41.0	-	N/A	48.8	41.0
3249.0	Transición	3286.3	N/A	-	92.9	44.7	44.7
3286.3	Circular	3514.5	283.7	-	N/A	344.6	283.7
3514.5	Transición	3544.8	N/A	-	1871.8	69.8	69.8
3544.8	Circular	3716.3	72.0	-	N/A	124.3	72.0
3716.3	Transición	3726.4	N/A	-	1016.4	48.4	48.4
3726.4	Transición	3736.5	N/A	-	9860.2	24.5	24.5
3736.5	Circular	3792.7	26.7	-	N/A	43.5	26.7
3792.7	Transición	3816.6	N/A	-	196.4	32.7	32.7
3816.6	Recta	3925.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
3925.9	Transición	3946.4	N/A	-	423.8	31.5	31.5
3946.4	Circular	4048.0	29.6	-	N/A	53.7	29.6
4048.0	Transición	4057.0	N/A	-	64.2	23.9	23.9
4057.0	Transición	4066.0	N/A	-	58.2	23.6	23.6

4066.0	Circular	4110.9	25.5	-	N/A	40.3	25.5
4110.9	Transición	4130.2	N/A	-	93.2	30.4	30.4
4130.2	Recta	4625.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4625.2	Circular	4655.1	45.9	-	N/A	51.8	45.9
4655.1	Recta	4656.8	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4656.8	Circular	4675.9	40.6	-	N/A	41.4	40.6
4675.9	Recta	4738.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4738.0	Transición	4747.9	N/A	-	367.6	33.9	33.9
4747.9	Circular	4766.1	42.3	-	N/A	41.5	41.5
4766.1	Circular	4786.7	39.7	-	N/A	41.4	39.7
4786.7	Transición	4795.7	N/A	-	1048.7	31.4	31.4
4795.7	Recta	4922.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
4922.6	Circular	4947.9	24.9	20.0	N/A	32.6	20.0
4947.9	Circular	4979.3	28.1	-	N/A	37.9	28.1
4979.3	Recta	5117.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5117.1	Transición	5162.7	N/A	-	136.5	59.5	59.5
5162.7	Circular	5274.2	57.3	-	N/A	80.3	57.3
5274.2	Transición	5371.6	N/A	-	171.7	76.7	76.7
5371.6	Recta	5434.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5434.5	Transición	5471.0	N/A	-	82.9	55.5	55.5
5471.0	Circular	5855.4	56.7	-	N/A	121.7	56.7
5855.4	Circular	5881.0	64.2	-	N/A	131.7	64.2
5881.0	Circular	5908.8	42.9	-	N/A	48.5	42.9
5908.8	Recta	5980.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
5980.9	Circular	5999.4	30.9	-	N/A	33.9	30.9
5999.4	Circular	6033.5	37.0	-	N/A	46.9	37.0
6033.5	Recta	6060.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6060.2	Transición	6098.9	N/A	-	89.9	56.7	56.7
6098.9	Circular	6176.0	57.4	-	N/A	71.2	57.4
6176.0	Transición	6204.4	N/A	-	91.1	51.1	51.1
6204.4	Recta	6341.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6341.6	Transición	6352.5	N/A	-	551.9	19.8	19.8
6352.5	Circular	6411.1	18.0	-	N/A	34.7	18.0
6411.1	Transición	6424.5	N/A	-	719.1	21.2	21.2
6424.5	Recta	6815.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
6815.9	Transición	6828.1	N/A	-	262.0	25.6	25.6
6828.1	Circular	6867.2	24.8	-	N/A	37.8	24.8
6867.2	Transición	6881.4	N/A	-	991.7	26.9	26.9
6881.4	Transición	6895.6	N/A	-	3515.7	27.3	27.3
6895.6	Circular	6922.2	25.9	-	N/A	33.7	25.9
6922.2	Transición	6936.6	N/A	-	715.9	27.4	27.4
6936.6	Recta	7008.1	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7008.1	Transición	7025.1	N/A	-	1398.1	59.2	59.2

7025.1	Circular	7054.1	72.5	-	N/A	70.9	70.9
7054.1	Transición	7071.3	N/A	-	308.4	59.5	59.5
7071.3	Recta	7081.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7081.5	Circular	7110.6	72.7	-	N/A	70.1	70.1
7110.6	Recta	7728.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
7728.5	Transición	7748.7	N/A	-	5630.2	72.1	72.1
7748.7	Circular	7995.8	91.4	-	N/A	166.3	91.4
7995.8	Transición	8017.9	N/A	-	14136.4	74.3	74.3
8017.9	Recta	8444.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8444.5	Transición	8467.4	N/A	-	103.6	25.0	25.0
8467.4	Circular	8489.4	20.2	-	N/A	24.7	20.2
8489.4	Transición	8516.5	N/A	-	107.5	26.5	26.5
8516.5	Recta	8620.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8620.9	Transición	8632.5	N/A	-	381.4	35.4	35.4
8632.5	Circular	8654.5	41.5	-	N/A	43.8	41.5
8654.5	Transición	8662.9	N/A	-	205.7	31.8	31.8
8662.9	Transición	8671.3	N/A	-	65.8	23.1	23.1
8671.3	Circular	8777.2	26.6	-	N/A	53.7	26.6
8777.2	Transición	8782.8	N/A	-	247.6	20.1	20.1
8782.8	Recta	8863.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
8863.3	Transición	8868.8	N/A	-	398.4	28.1	28.1
8868.8	Circular	8890.5	42.6	-	N/A	44.4	42.6
8890.5	Transición	8898.1	N/A	-	898.0	31.3	31.3
8898.1	Recta	9270.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9270.0	Transición	9295.5	N/A	-	80.1	49.5	49.5
9295.5	Circular	9324.4	54.6	-	N/A	51.6	51.6
9324.4	Transición	9337.7	N/A	-	83.9	39.8	39.8
9337.7	Recta	9534.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9534.2	Transición	9545.5	N/A	-	144.7	33.1	33.1
9545.5	Circular	9592.3	39.2	-	N/A	53.2	39.2
9592.3	Transición	9610.6	N/A	-	74.6	38.9	38.9
9610.6	Recta	9691.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9691.3	Transición	9707.1	N/A	-	188.1	22.9	22.9
9707.1	Circular	9720.7	20.5	-	N/A	21.8	20.5
9720.7	Transición	9734.2	N/A	-	83.1	21.7	21.7
9734.2	Recta	9756.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9756.0	Transición	9769.2	N/A	-	119.6	32.5	32.5
9769.2	Circular	9789.0	36.9	-	N/A	37.2	36.9
9789.0	Transición	9810.0	N/A	-	117.8	37.9	37.9
9810.0	Recta	9875.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
9875.5	Transición	9885.8	N/A	-	67.7	44.8	44.8
9885.8	Circular	10140.3	69.4	-	N/A	130.4	69.4
10140.3	Circular	10165.3	20.5	-	N/A	26.6	20.5

10165.3	Recta	10201.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10201.0	Transición	10216.7	N/A	-	479.0	27.1	27.1
10216.7	Circular	10241.7	25.4	-	N/A	31.7	25.4
10241.7	Transición	10252.7	N/A	-	81.5	24.1	24.1
10252.7	Recta	10337.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10337.0	Transición	10354.3	N/A	-	71.0	30.0	30.0
10354.3	Circular	10475.7	30.5	-	N/A	57.3	30.5
10475.7	Transición	10499.7	N/A	-	80.1	33.4	33.4
10499.7	Recta	10514.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10514.5	Transición	10532.7	N/A	-	846.3	57.6	57.6
10532.7	Circular	10567.2	69.1	-	N/A	71.3	69.1
10567.2	Transición	10583.6	N/A	-	6132.6	55.7	55.7
10583.6	Transición	10600.0	N/A	-	3018.9	53.9	53.9
10600.0	Circular	10632.0	65.5	-	N/A	67.4	65.5
10632.0	Transición	10647.2	N/A	-	445.4	52.6	52.6
10647.2	Recta	10698.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10698.2	Circular	10734.5	61.2	-	N/A	67.0	61.2
10734.5	Recta	10759.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10759.4	Circular	10808.9	68.5	-	N/A	80.4	68.5
10808.9	Recta	10816.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10816.6	Transición	10833.9	N/A	-	896.9	25.6	25.6
10833.9	Circular	10849.4	20.9	-	N/A	24.7	20.9
10849.4	Transición	10864.0	N/A	-	404.1	24.2	24.2
10864.0	Recta	10912.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
10912.0	Transición	10954.2	N/A	-	5186.1	58.3	58.3
10954.2	Circular	11123.8	46.0	-	N/A	92.7	46.0
11123.8	Transición	11166.9	N/A	-	1216.3	58.7	58.7
11166.9	Recta	11363.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11363.9	Transición	11383.7	N/A	-	608.8	32.4	32.4
11383.7	Circular	11518.4	27.9	-	N/A	61.3	27.9
11518.4	Recta	11556.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11556.7	Transición	11558.1	N/A	-	3456.6	10.9	10.9
11558.1	Circular	11576.7	20.3	20.0	N/A	25.7	20.0
11576.7	Circular	11603.5	21.4	-	N/A	30.0	21.4
11603.5	Recta	11664.0	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11664.0	Circular	11690.4	21.0	20.0	N/A	29.4	20.0
11690.4	Circular	11712.2	20.1	-	N/A	27.3	20.1
11712.2	Transición	11731.5	N/A	-	703.7	26.2	26.2
11731.5	Recta	11805.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
11805.2	Transición	11813.9	N/A	-	755.9	21.2	21.2
11813.9	Circular	11858.4	22.5	-	N/A	36.6	22.5
11858.4	Transición	11876.2	N/A	-	2693.9	27.0	27.0
11876.2	Recta	12066.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta

12066.9	Transición	12100.0	N/A	-	856.8	69.4	69.4
12100.0	Circular	12178.7	66.9	-	N/A	92.7	66.9
12178.7	Transición	12245.9	N/A	-	6837.9	87.9	87.9
12245.9	Recta	12267.7	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12267.7	Circular	12300.4	64.4	-	N/A	67.0	64.4
12300.4	Recta	12486.3	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12486.3	Transición	12498.4	N/A	-	825.7	48.3	48.3
12498.4	Circular	12615.2	64.2	-	N/A	102.7	64.2
12615.2	Transición	12637.8	N/A	-	1392.8	59.4	59.4
12637.8	Recta	12667.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
12667.4	Transición	12695.6	N/A	-	6408.9	64.9	64.9
12695.6	Circular	12816.8	66.1	-	N/A	105.6	66.1
12816.8	Transición	12838.4	N/A	-	4905.5	59.4	59.4
12838.4	Transición	12860.0	N/A	-	4905.5	24.4	24.4
12860.0	Circular	12885.4	17.5	-	N/A	25.8	17.5
12885.4	Transición	12930.0	N/A	-	10135.1	31.1	31.1
12930.0	Recta	13297.6	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13297.6	Circular	13315.0	26.2	-	N/A	29.8	26.2
13315.0	Circular	13338.3	31.7	-	N/A	37.3	31.7
13338.3	Recta	13378.2	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13378.2	Circular	13411.1	21.1	-	N/A	31.8	21.1
13411.1	Recta	13453.4	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13453.4	Transición	13459.4	N/A	-	1347.7	15.5	15.5
13459.4	Circular	13472.9	16.7	-	N/A	20.4	16.7
13472.9	Transición	13480.0	N/A	-	1606.2	16.4	16.4
13480.0	Recta	13592.5	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13592.5	Circular	13603.2	17.0	20.0	N/A	19.0	17.0
13603.2	Circular	13619.1	21.3	-	N/A	25.2	21.3
13619.1	Transición	13631.5	N/A	-	2823.2	23.2	23.2
13631.5	Recta	13689.9	N/A Recta	-	N/A	N/A Recta	Recta
13689.9	Fin de línea						

16 Anexo 3: Reglamento de Circulación

Tabla 16-1: Velocidades máximas definidas en el Reglamento de Circulación de MLO.

Velocidad máxima autorizada en conducción marcha a la vista	70 km/h
Taller y Lavado (Selector en Conducción de Maniobra – CM)	3 km/h
Talleres y Cocheras (zonas no señalizadas)	5 km/h
Plataforma peatonal y/o persona/s a menos de 2 metros del GLO del ML	20 km/h
Paso de peatones sin aviso de aproximación de Metros Ligeros	40 km/h
Avería de la bocina y de la campana (averías simultaneas)	20 km/h
Avería de la bocina (campana operativa)	30 km/h
Semáforos de cruces fuera de servicio, sin visibilidad o bloqueados	10 km/h
Circulación en Terminales sin señalización	15 km/h
Apertura de línea	30 km/h
Entrada y salida de una estación/parada	30 km/h
Frenos de 1 bogie aislados	40 km/h
Remolque	20 km/h
Empuje	10 km/h
Paso junto a un Metro Ligero inmovilizado o circulando a velocidad reducida en zona tranviaria	10 km/h
Paso junto a cualquier vehículo inmovilizado o circulando a baja velocidad que dificulte la visibilidad en zona tranviaria	10 km/h
Circulación en zona de trabajos señalizados en superficie (En zonas con limitación de velocidad permanente de 15 km/h el paso se realizará a velocidad máxima de 10 km/h)	15 km/h
Circulación en zona de trabajos señalizados en túnel, trincheras o paso elevado	5 km/h
Paso por una aguja en vía directa abordada por el talón	40 km/h
Paso por una aguja en vía desviada	10 km/h
Paso por una aguja en vía directa abordada por la punta	30 km/h
Rebase de señales ferroviarias en prohibición de paso con autorización del PCC o de un Responsable operativo	30 km/h
Maniobra de marcha atrás (retroceso)	3 km/h
Circulación en contravía	20 km/h
En la aproximación a otro vehículo encarrilado cuando la distancia es inferior a 25 metros	5 km/h

17 Anexo 4: Resultados pruebas de deceleración

Tabla 17-1: Mediciones tomadas de las pruebas de frenado realizadas en Febrero 2015
[Fuente: Elaboración propia]

UT	t [s]	x-x ₀ [m]	v ₀ [km/h]	v ₀ [m/s]	a [m/s ²]	Cabina	Sentido
106	7	52	43	11.94	-1.29	M1	1
	7	46	42	11.67	-1.46	M2	2
	7	46	43	11.94	-1.54	M1	1
	7	50	43	11.94	-1.37	M2	2
120	7	50	43	11.94	-1.37	M2	2
	7	45	42	11.67	-1.50	M2	2
	6	40	41	11.39	-1.57	M1	1
	7	45	43	11.94	-1.58	M2	2
	6	39	40	11.11	-1.54	M1	1
110	7	49	42	11.67	-1.33	M1	1
	6	44	42	11.67	-1.44	M2	2
	7	47	42	11.67	-1.41	M1	1
101	7	42	41	11.39	-1.54	M2	2
	7	50	43	11.94	-1.37	M1	1
	8	48	43	11.94	-1.49	M2	2
	7	49	43	11.94	-1.41	M1	1
107	8	53	42	11.67	-1.26	M2	2
	6	45	41	11.39	-1.30	M1	1
	8	52	42	11.67	-1.29	M2	2
	7	42	39	10.83	-1.38	M1	1
123	8	55	44	12.22	-1.34	M2	2
	6	43	42	11.67	-1.50	M1	1
	7	43	42	11.67	-1.58	M2	2
	7	41	40	11.11	-1.50	M1	1
117	7	51	43	11.94	-1.33	M1	2
	7	47	42	11.67	-1.41	M2	1
	7	48	42	11.67	-1.37	M1	2
	6	41	41	11.39	-1.52	M2	1
122	7	43	41	11.39	-1.50	M1	1
	7	46	42	11.67	-1.46	M2	2
	7	45	42	11.67	-1.50	M1	1
	8	43	41	11.39	-1.50	M2	2

Distancia media de frenado	46.00 m
----------------------------	---------

Deceleración media	-1.44 m/s ²
--------------------	------------------------

Desviación estándar distancia de frenado	4.06 m
--	--------

Desviación estándar de deceleración	0.09 m/s ²
-------------------------------------	-----------------------

18 Anexo 5: Informe detallado de la auditoria del perfil de velocidades actual

Una vez calculadas las velocidades máximas por tramo, según los criterios establecidos en el apartado 6, se ha procedido a compararlas con el actual perfil de velocidades. Mediante dicha comparación se han identificado aquellas zonas que requieren una obligada revisión, independientemente de que se implemente el nuevo perfil de velocidades propuesto en el apartado 9, por exceder los parámetros admisibles de confort y seguridad.

El proceso para realizar la auditoria ha sido el de generar tres perfiles de velocidades con las velocidades máximas por tramo para los siguientes niveles de confort de pasajero, según criterio definido en el apartado 6.2:

- Bueno - Perfil color verde
- Aceptable - Perfil color amarillo
- Excepcionalmente aceptable - Perfil color rojo



Figura 18-1: Comparación de los perfiles de velocidad máximo con el perfil actual.

Una vez generados dichos perfiles, estos son comparados con el perfil actual de velocidades para identificar los puntos donde se supera el perfil rojo, nivel excepcionalmente para el viajero. La Figura 8-1 muestra un ejemplo de cómo se realiza dicha comparación.

18.1 Zonas de obligada revisión del límite de velocidades en ML2

Para cada una de las zonas identificadas donde se requiere una revisión del límite de velocidades, se han estudiado las razones que llevan a modificar el límite de velocidad y una recomendación del P.K. donde se debería colocar la señalización de límite de velocidad para cumplir con los criterios establecidos.

18.1.1 ML2 - Vía 1

Id. 1:

Como se puede observar en el Gráfico 18-1, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 13-EA ya que permite a los conductores acelerar con fuerza, dado que existe un incremento de 25 km/h, sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja *desplazar esta limitación hasta el P.K. 8,528*.

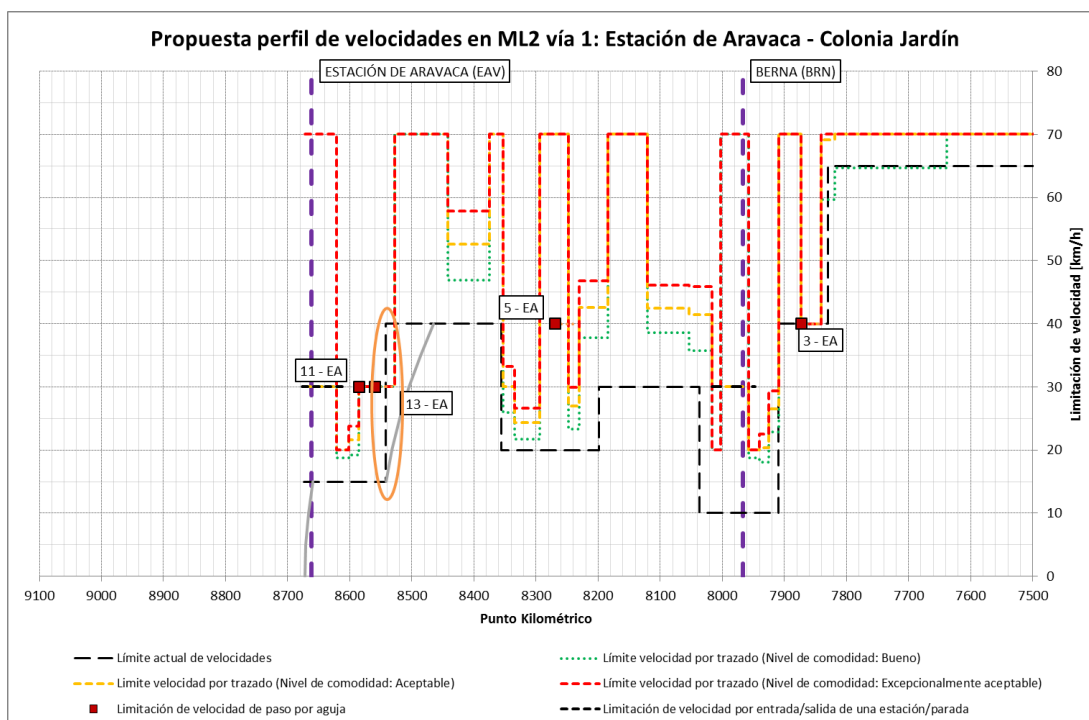


Gráfico 18-1: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre Estación de Aravaca y P.K. 7,500.

Id. 2:

Debido a la existencia de una curva de radio 250 metros y su consiguiente curva de transición, se puede observar claramente en el Gráfico 18-2, que la colocación de la señal de limitación de 30 km/h en el P.K. 4,177.4 deja desprotegida dicha zona. Así mismo, se puede observar que en la zona donde se encuentra el tramo circular no se excederían los valores de nivel de comodidad aceptable gracias a la curva de deceleración necesaria que los conductores tendrían que seguir para no exceder los 30 km/h a la entrada de la parada de Pozuelo Oeste (PZO). Sin embargo, a pesar de la curva de deceleración, se superaría el valor de variación de aceleración transversal máximo para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable en la curva de transición.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero así como una curva de frenado uniforme en una deceleración fuerte (el límite de velocidad se reduce en 40 km/h), se aconseja realizar una limitación de velocidad escalonada. Para ello, se debería colocar una limitación a 50 km/h en el P.K. 4,272.5 y mantener el límite de 30 km/h en el P.K. 4,177.4.

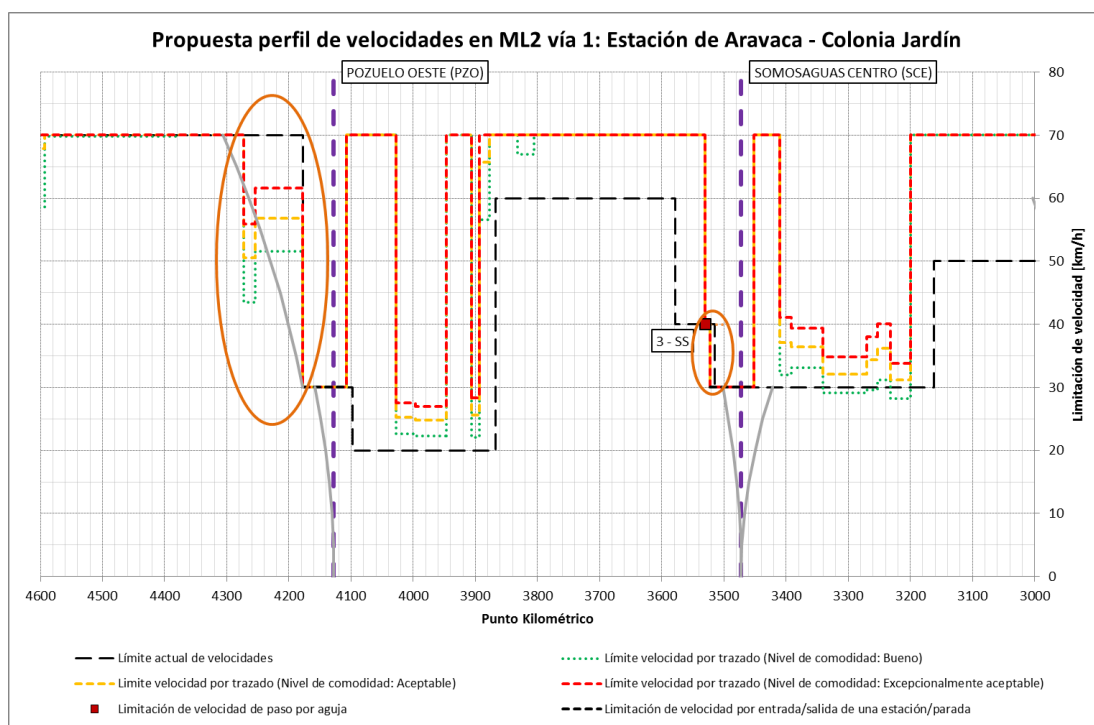


Gráfico 18-2: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 4,600 y P.K. 3,000.

Id. 3:

Como se puede observar en el Gráfico 18-2, el actual límite de velocidades sitúa la señal de limitación de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 3-SS ya que obliga a los conductores a aplicar freno sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja adelantar esta limitación al P.K. 3,530.

Id. 4:

La actual limitación de 30 km/h situada en el P.K. 2,910, admitiría el paso a mayor velocidad de la permitida por los límites establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, como se puede ver en el Gráfico 18-3, por dicho punto. Si bien la curva de deceleración, necesaria para alcanzar la velocidad objetivo, garantizaría que no se superará dicho límite, se recomienda desplazar esta limitación al P.K. 2,916.5.

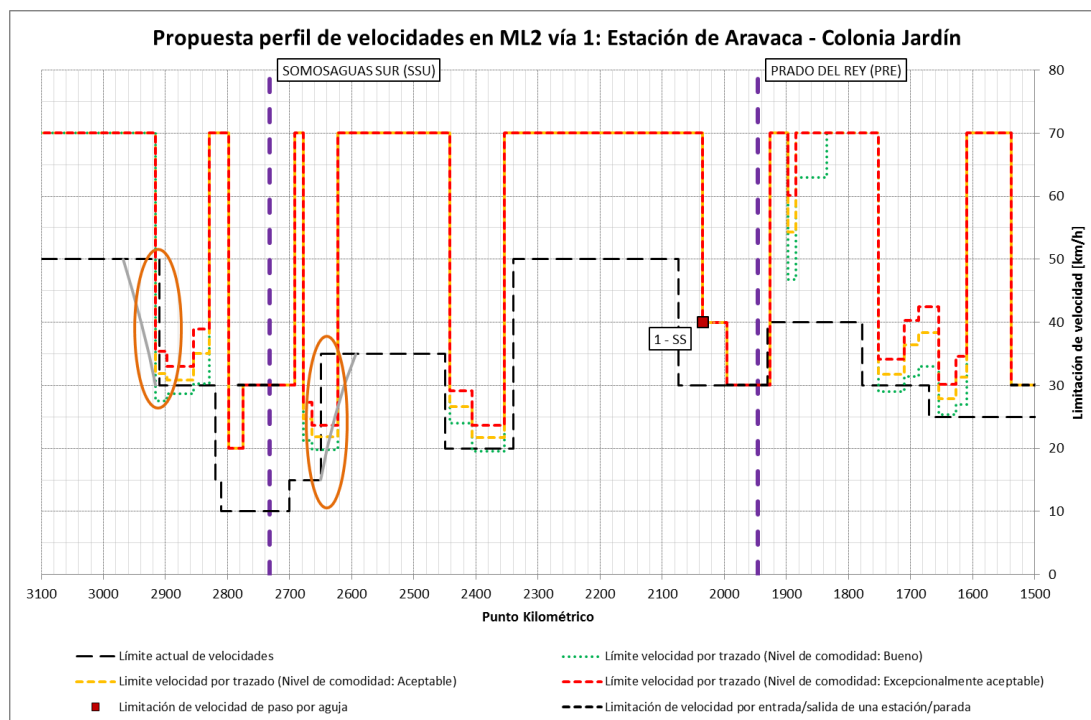


Gráfico 18-3: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 3,100 y P.K. 1,500.

Id. 5:

Debido a la existencia de una curva de radio 36 metros, se puede observar claramente en el Gráfico 18-3, que la colocación de la señal de limitación de 35 km/h en el P.K. 2,650 deja desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva excediendo mínimamente los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja retrasar la posición de la señal al P.K. 2,622.

Id. 6:

Dado que a la salida de la parada de Colonia de Los Ángeles, por vía 1, existe una alineación recta entre curvas en S (de radio menor a 80 metros) sin curva de transición, se aconseja una limitación de 20 km/h. Por ello, y para evitar superar dicha velocidad en el caso de posibles servicios directos en ML2 sin parada en Colonia de Los Ángeles, se recomienda desplazar la actual limitación de 15 km/h al P.K. 1.476.2.

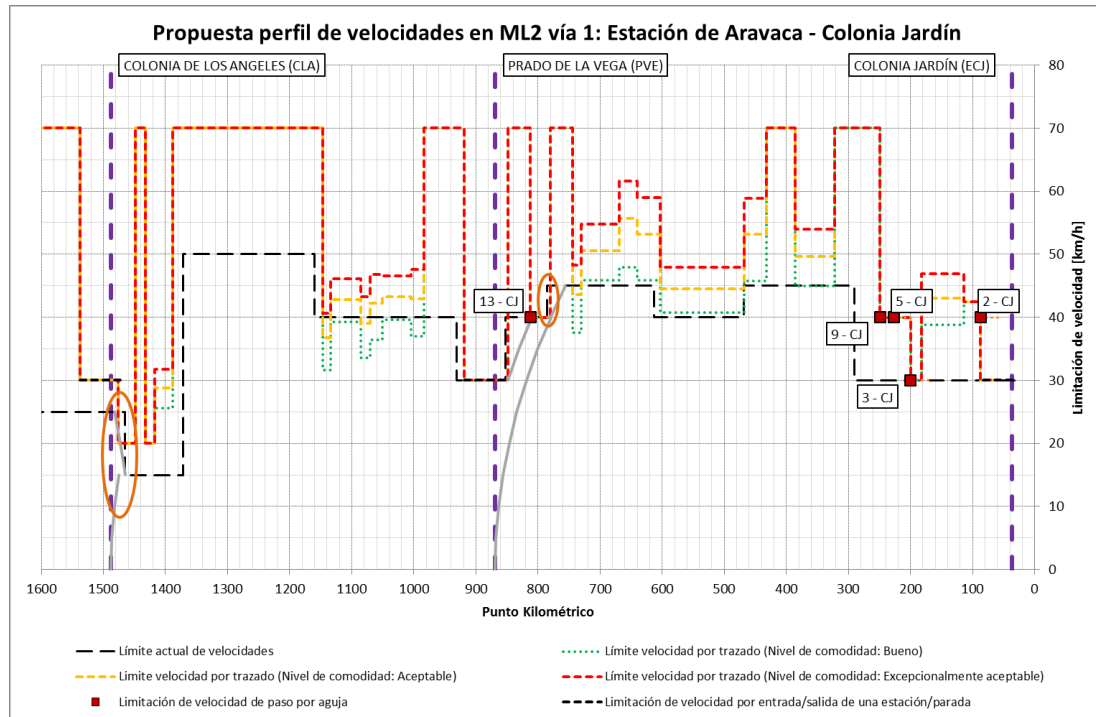


Gráfico 18-4: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 1,600 y estación de Colonia Jardín.

Id. 7:

Como se puede observar en el Gráfico 18-4, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 13-CJ ya que permite a los conductores acelerar sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja desplazar esta limitación hasta el P.K. 780.

18.1.2 ML2 - Vía 2

Id. 8:

A la salida de estación Colonia Jardín por vía 2, tomando el desvío 2-CJ a desviada, se sitúa una alineación recta entre curvas en S. Por ello, y para garantizar el confort del viajero con los criterios establecidos, se recomienda aplicar una limitación de 20 km/h desde el P.K. hasta la completa liberación de la aguja en el P.K. 114 donde se colocará la actual limitación de 30 km/h.

Id. 9:

Como se puede observar en el Gráfico 18-5, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 10-CJ ya que permite a los conductores acelerar con fuerza, dado que existe un incremento de 15 km/h, sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja desplazar esta limitación hasta el P.K. 306.

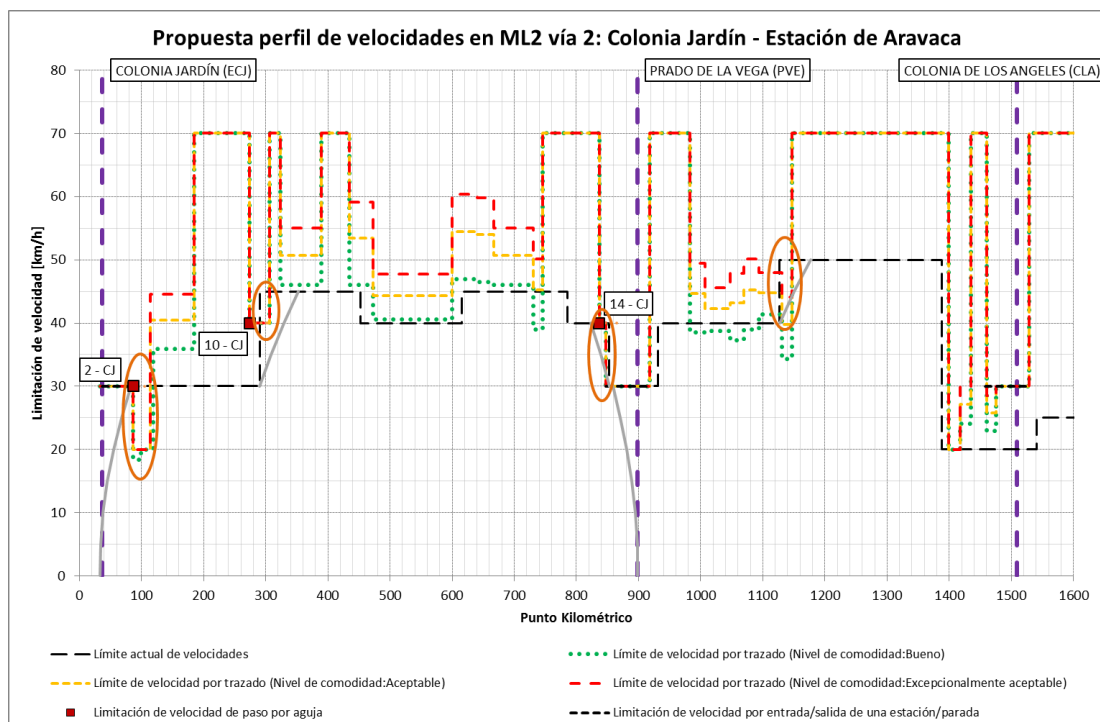


Gráfico 18-5: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre estación de Colonia Jardín y P.K. 1,600.

Id. 10:

Como se puede observar en el Gráfico 18-5, el actual límite de velocidades sitúa la señal de limitación de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 14-CJ ya que obliga a los conductores a aplicar freno sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja adelantar esta limitación al P.K. 837.

Id. 11:

Debido a la existencia de una curva de transición con parámetro de clotoide 46.5 metros, se puede observar claramente en el Gráfico 18-5, que la colocación de la señal de limitación de 35 km/h en el P.K. 1,127.2 deja desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva excediendo mínimamente los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja desplazar la posición de la señal al P.K. 1,147.

Id. 12:

Debido a la existencia de una curva de transición con parámetro de clotoide 32.4 metros, se puede observar en el Gráfico 18-6, que la colocación de la señal de limitación de 50 km/h en el P.K. 2,911.3 deja desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva sin exceder los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja desplazar la posición de la señal al P.K. 2,916.5.

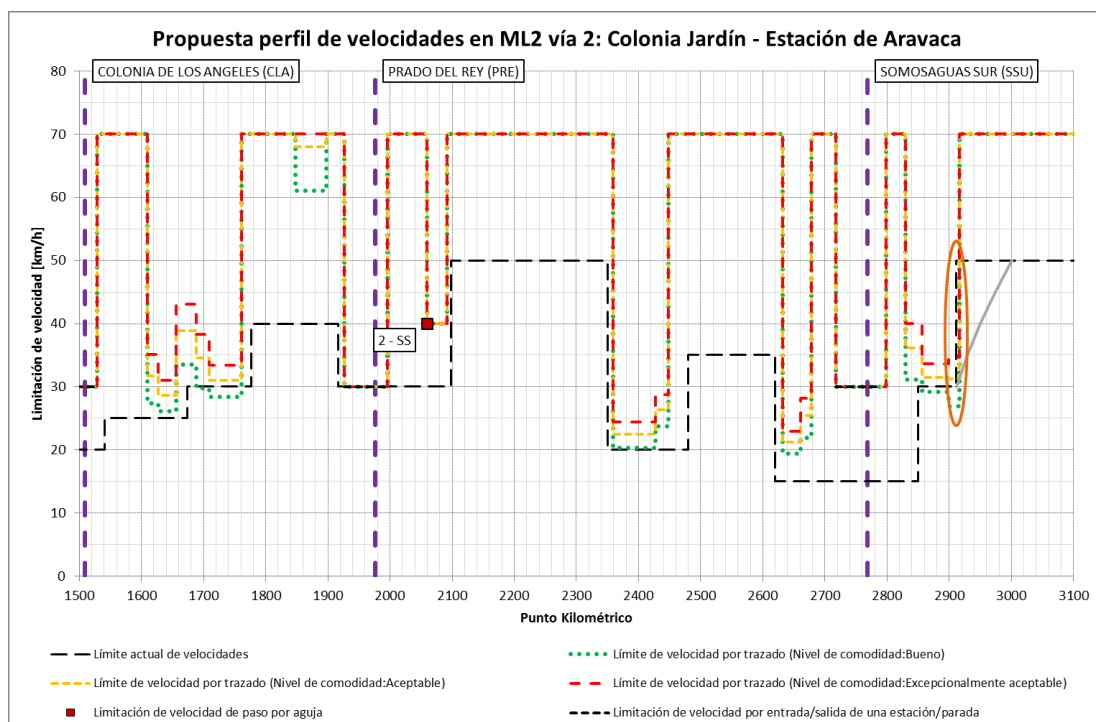


Gráfico 18-6: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.

Id. 13:

La actual limitación de 30 km/h situada en el P.K. 6,500, admitiría el paso a mayor velocidad de la permitida por los límites establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, como se puede ver en el Gráfico 18-7, por dicho punto. Si bien la curva de deceleración, necesaria para alcanzar la velocidad objetivo, garantizaría que no se superará dicho límite, se recomienda adelantar esta limitación al P.K. 6,493.5.

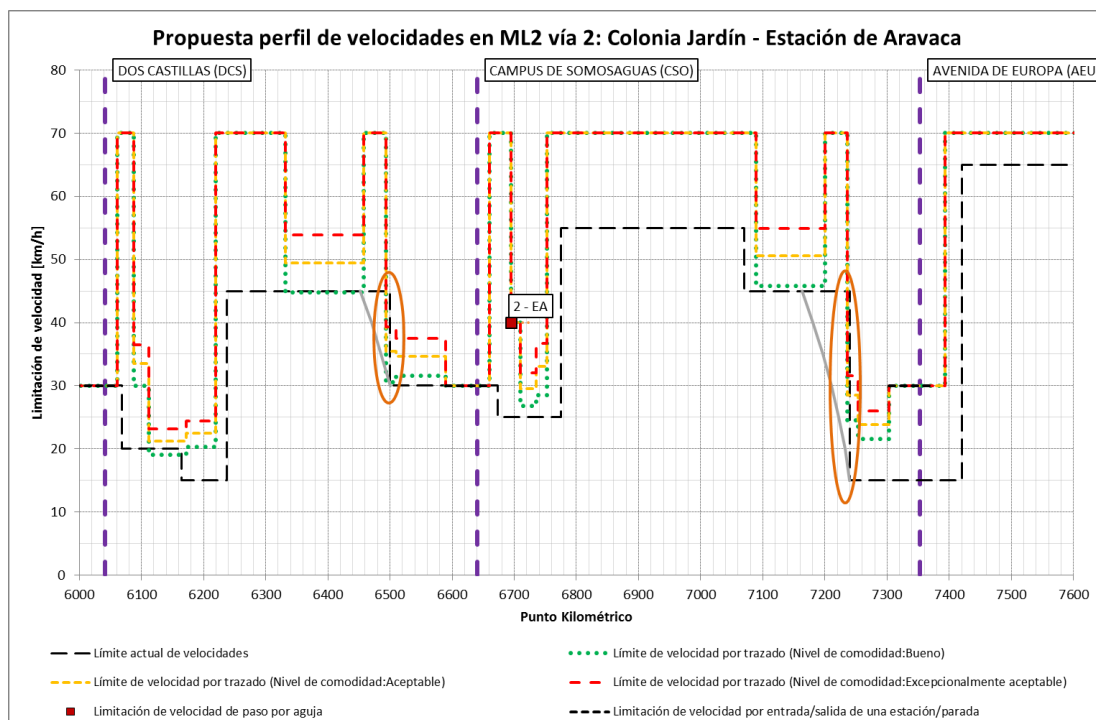


Gráfico 18-7: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 6,000 y P.K. 7,600.

Id. 14:

La actual limitación de 30 km/h situada en el P.K. 7,240, admitiría el paso a mayor velocidad de la permitida por los límites establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, como se puede ver en el Gráfico 18-7, por dicho punto. Si bien la curva de deceleración, necesaria para alcanzar la velocidad objetivo, garantizaría que no se superará dicho límite, se recomienda adelantar esta limitación al P.K. 7,236.

Id. 15:

Como se puede observar en el Gráfico 18-8, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 8-EA ya que permite a los conductores acelerar con fuerza, dado que existe un incremento de 25 km/h, sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja desplazar esta limitación hasta el P.K. 8,385.

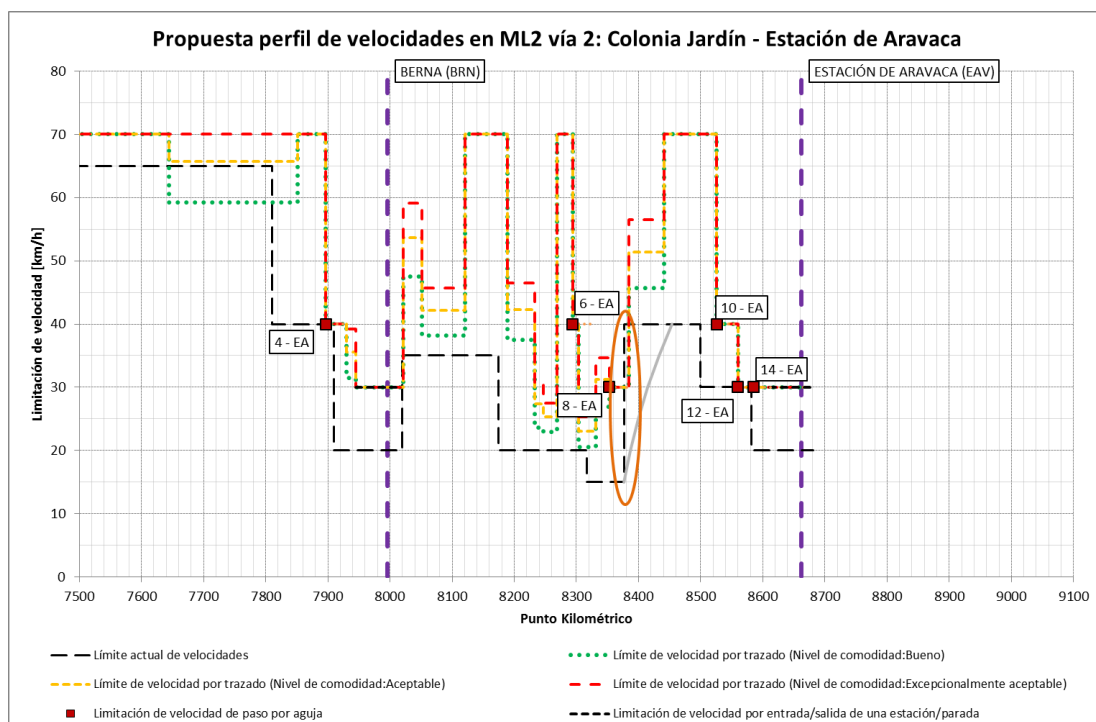


Gráfico 18-8: Puntos de revisión de velocidades en ML2 – Vía 1 entre P.K. 6,000 y Estación de Aravaca.

18.1.3 Resumen de cambios recomendados en ML2

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. actual	Nuevo P.K.	Límite de velocidad actual	Nuevo límite de velocidad	Observaciones
		Pos.	Veloc.					
1	1	✓	✗	8,542	8,528.0	40 km/h	-	Proteger aguja 13-EA
	2	✓	✓	-	4,272.5	70 km/h	50 km/h	-
	3	✓	✗	3,522.25	3,530.0	30 km/h	-	Proteger aguja 3-SS
	4	✓	✗	2,910	2,916.5	30 km/h	-	-
	5	✓	✗	2,650	2,622.0	35 km/h	-	-
	6	✓	✗	1,464.8	1,476.8	15 km/h	-	-
	7	✓	✗	785.9	780.0	45 km/h	-	Proteger aguja 13-CJ
2	8	✗	✓	87.0	-	30 km/h	20 km/h	-
	9	✓	✗	87.0	114.0	30 km/h	-	-
	10	✓	✗	290.1	306.0	45 km/h	-	Proteger aguja 10-CJ
	11	✓	✗	852.9	837.0	30 km/h	-	Proteger aguja 14-CJ
	12	✓	✗	1,127.2	1,147.0	50 km/h	-	-
	13	✓	✗	2,911.3	2,916.5	50 km/h	-	-
	14	✓	✗	6,500.0	6,493.5	30 km/h	-	-
	15	✓	✗	7,240.0	7,236.0	15 km/h	-	-
				8,376.7	8,385.0	40 km/h	-	Proteger aguja 8-EA

18.2 Zonas de obligada revisión del límite de velocidades en ML3

18.2.1 ML3 - Vía 1

Id. 1:

Como se puede observar en el Gráfico 18-9, la existencia de una curva circular de radio 37 metros que enlaza con otra curva circular sin transición, limita la velocidad máxima a 20 km/h en dicho punto. Por ello, se debería colocar una limitación de 20 km/h entre el P.K. 12,886 y el P.K. 12,858.

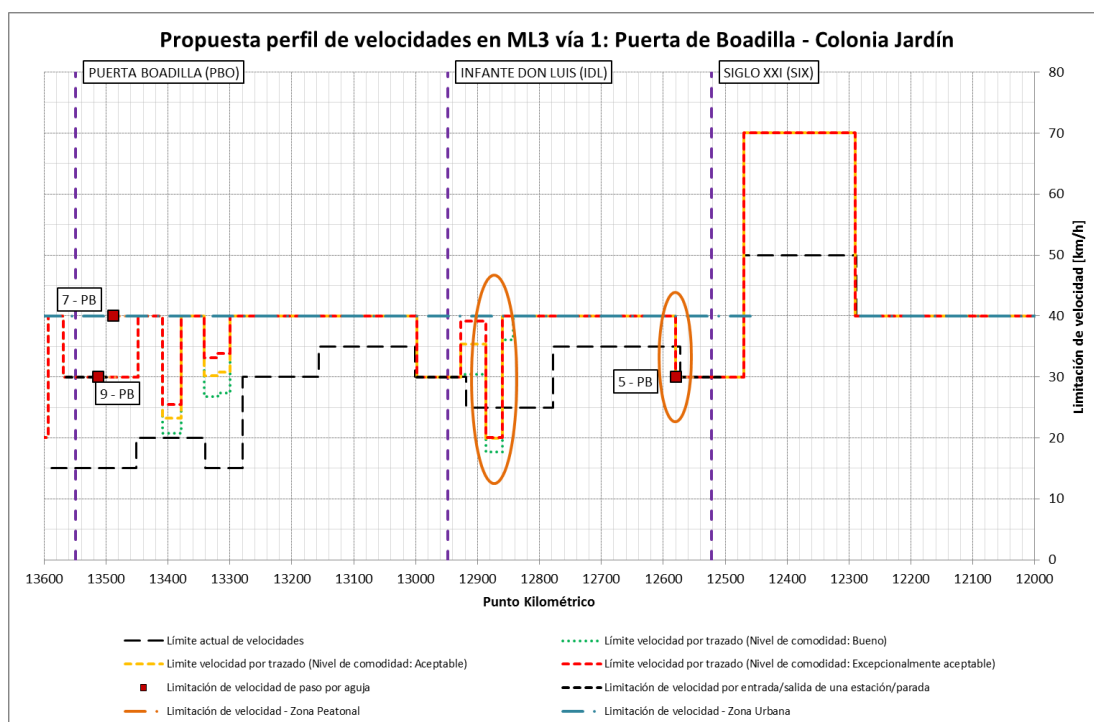


Gráfico 18-9: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 13,600 y P.K. 12,000.

Id. 2:

Como se puede observar en el Gráfico 18-9, el actual límite de velocidades sitúa la señal de limitación de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 5-PB ya que obliga a los conductores a aplicar freno sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja adelantar esta limitación al P.K. 12,580.

Id. 3:

Debido a la existencia de una curva de radio 61 metros, se puede observar en el Gráfico 18-10, que existe un tramo de 47 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 30 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero ni riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

La aceleración sin compensar, para una velocidad de circulación de 30 km/h por ese tramo, sería de 1.145 m/s^2 (+14.5% sobre el máximo establecido en la Tabla 5-1). Esto equivaldría a un aceleración total sobre el pasajero de 1.31 m/s^2 (valor excepcionalmente aceptable para pasajeros sentados según Tabla 5-2). Dicha incomodidad teórica no se aprecia durante la circulación del vehículo.

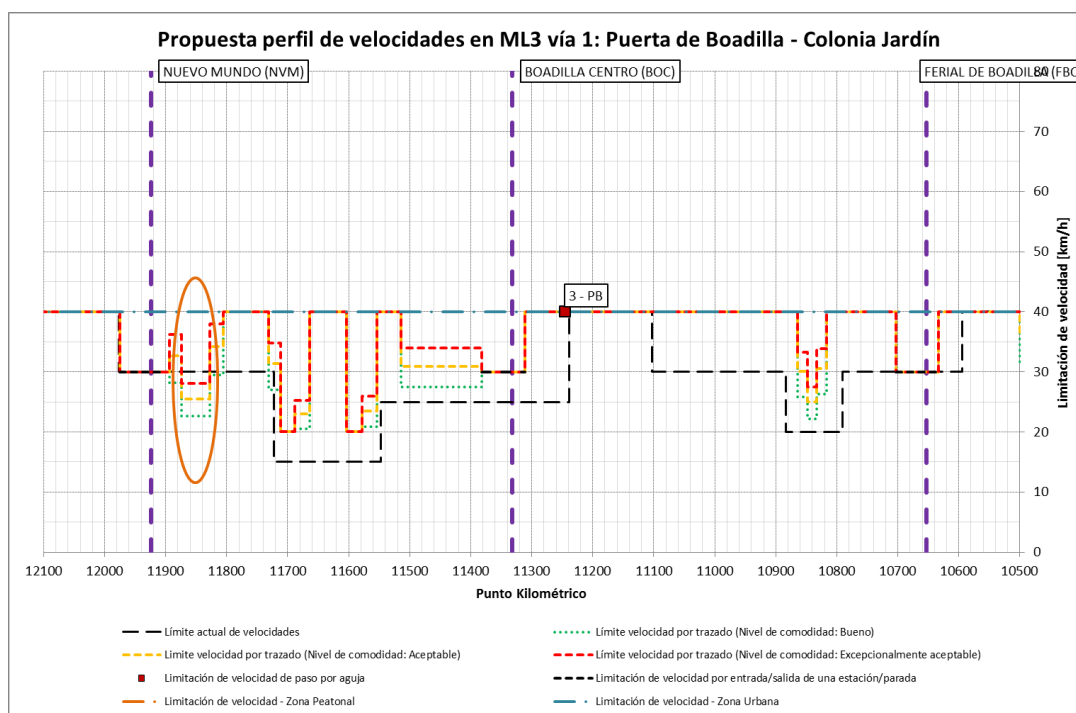


Gráfico 18-10: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 12,100 y P.K. 10,500.

Id. 4:

Debido a la existencia de una curva de radio 150 metros y su consiguiente curva de transición, se puede observar claramente en el Gráfico 18-11, que es necesaria la colocación de una señal de limitación de 40 km/h en el P.K. 9,810. Así mismo, se puede observar que en la zona donde sería necesaria dicha limitación no se excederían los valores de nivel de comodidad aceptable

gracias a la curva de deceleración que los conductores tendrían que seguir para no exceder el límite de 20 km/h actualmente colocado en el P.K. 9,728.

Por lo tanto, para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero así como una curva de frenado uniforme en una deceleración fuerte (el límite de velocidad se reduce en 30 km/h), se aconseja colocar una limitación a 40 km/h en el P.K. 9,810.2 y adelantar el límite de 20 km/h al P.K. 9,733.9.

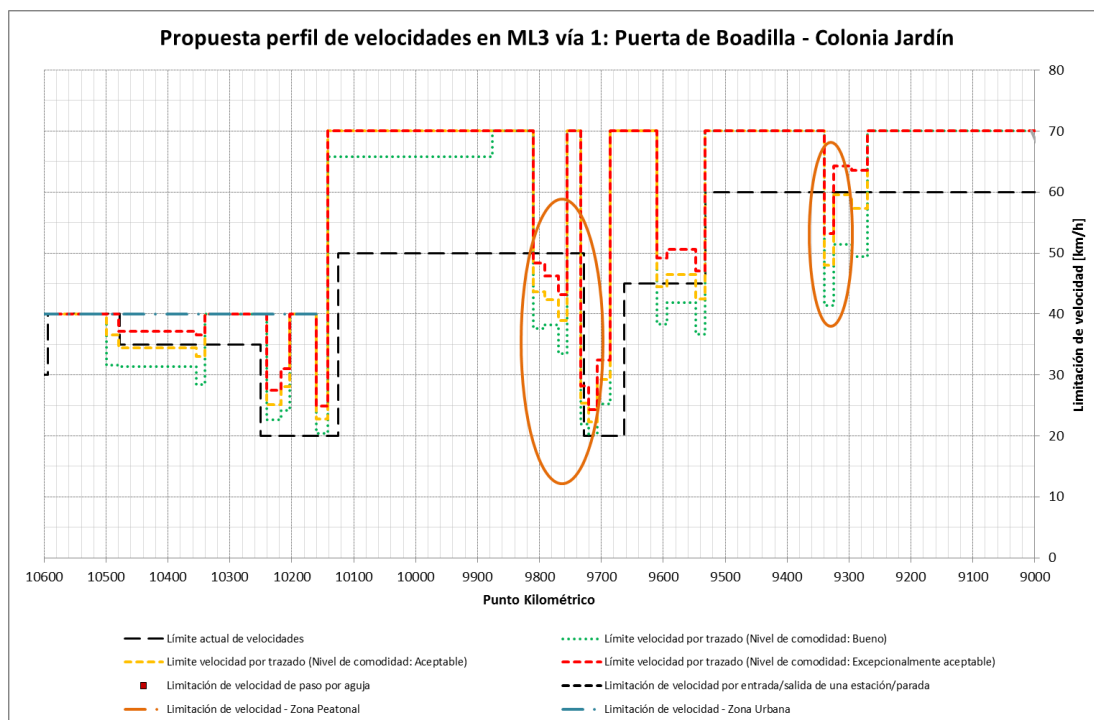


Gráfico 18-11: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 12,100 y P.K. 10,500.

Id. 5:

Debido a la existencia de una curva de transición, se puede observar en el Gráfico 18-11, que existe un tramo de 15 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 60 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

En este caso, la aceleración sin compensar no sería el factor limitante. Sin embargo, la variación de aceleración transversal aumentaría hasta un valor de 1.22 m/s^3 . Dicha variación no se aprecia durante la circulación del vehículo.

Id. 6:

Debido a la existencia de una curva de radio 36 metros, se puede observar en el Gráfico 18-12 que la colocación de la señal de limitación de 40 km/h en el P.K. 6,827 deja desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva excediendo mínimamente los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja retrasar la posición de la señal al P.K. 6,816.

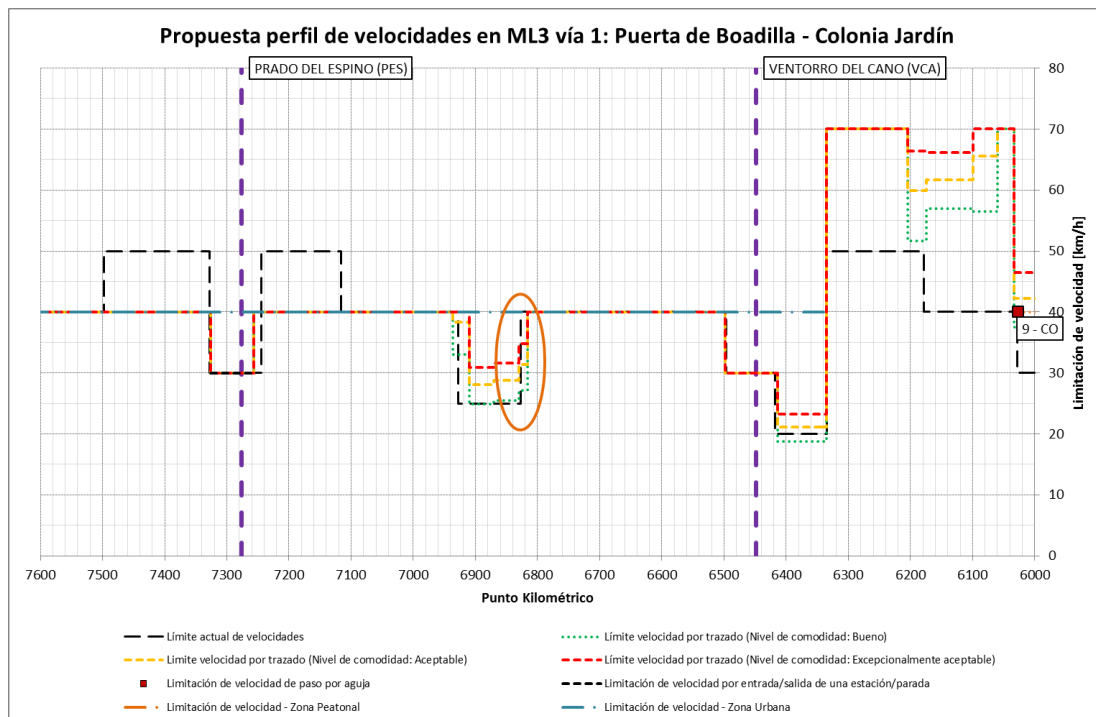


Gráfico 18-12: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 7,600 y P.K. 6,000.

Id. 7:

Debido a la existencia de una curva de radio 81.7 metros, se puede observar en el Gráfico 18-13, que existe un tramo de 57.6 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 35 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero ni riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

La aceleración sin compensar, para una velocidad de circulación de 35 km/h por ese tramo, sería de 1.145 m/s^2 (+14.5% sobre el máximo establecido en la Tabla 5-1). Esto equivaldría a un aceleración total sobre el pasajero de 1.31 m/s^2 (valor excepcionalmente aceptable para pasajeros sentados según Tabla 5-2). Dicha incomodidad teórica no se aprecia durante la circulación del vehículo.

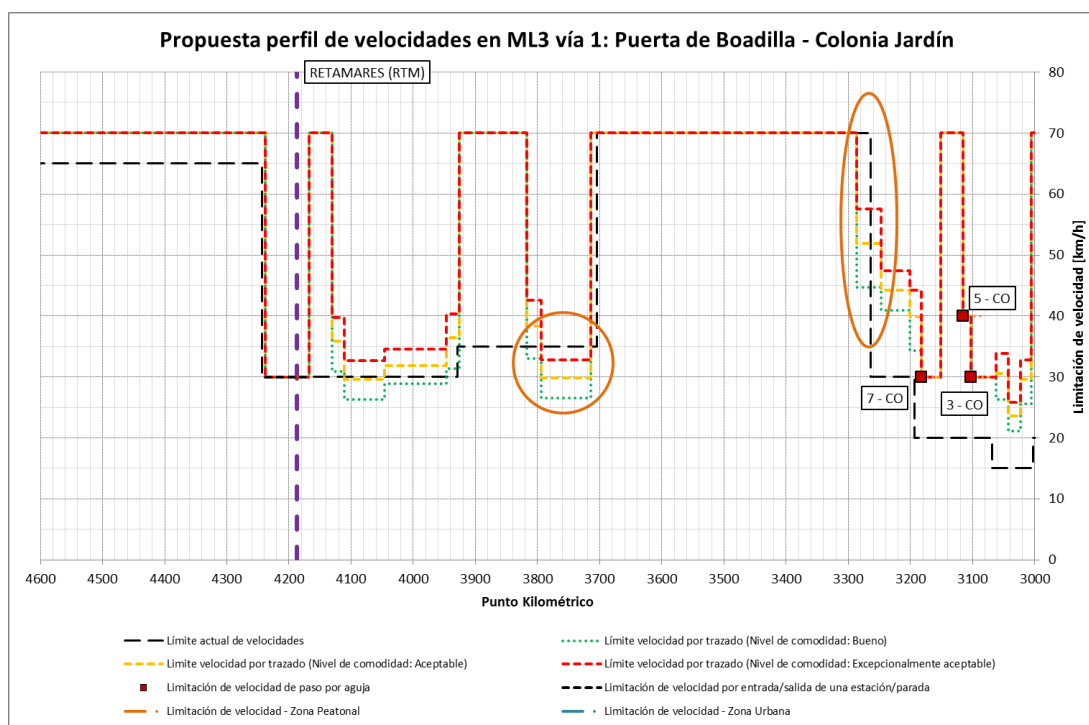


Gráfico 18-13: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 4,600 y P.K. 3,000.

Id. 8:

Debido a la existencia de una curva de transición, se puede observar en el Gráfico 18-13 que la colocación de la señal de limitación de 30 km/h en el P.K. 3,264 deja desprotegida dicha zona. Así mismo, se puede observar que en la zona donde se encuentra el tramo circular no se excederían los valores de nivel de comodidad aceptable gracias a la curva de deceleración necesaria que los conductores tendrían que seguir para no exceder los 30 km/h.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero así como una curva de frenado uniforme en una deceleración fuerte (el límite de velocidad se reduce en 40 km/h), se aconseja realizar una limitación de velocidad escalonada. Para ello, se debería colocar una limitación a 40 km/h en el P.K. 3,286.3, eliminar la limitación de 30 km/h en el P.K. 3,264 y mantener el límite de 20 km/h en el P.K. 3,193.

Id. 9:

Debido a la existencia de una curva transición, se puede observar en el Gráfico 18-14, que existe un tramo de 13 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. En dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 70 km/h apreciándose cierta incomodidad para el pasajero pero sin riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y dado que dicho punto se encuentra en la curva de aceleración del vehículo, se recomienda reducir la limitación existente en el P.K. 796 a 50 km/h para instalar la limitación de 70 km/h en el P.K. 695.6, una vez se ha liberado este tramo.

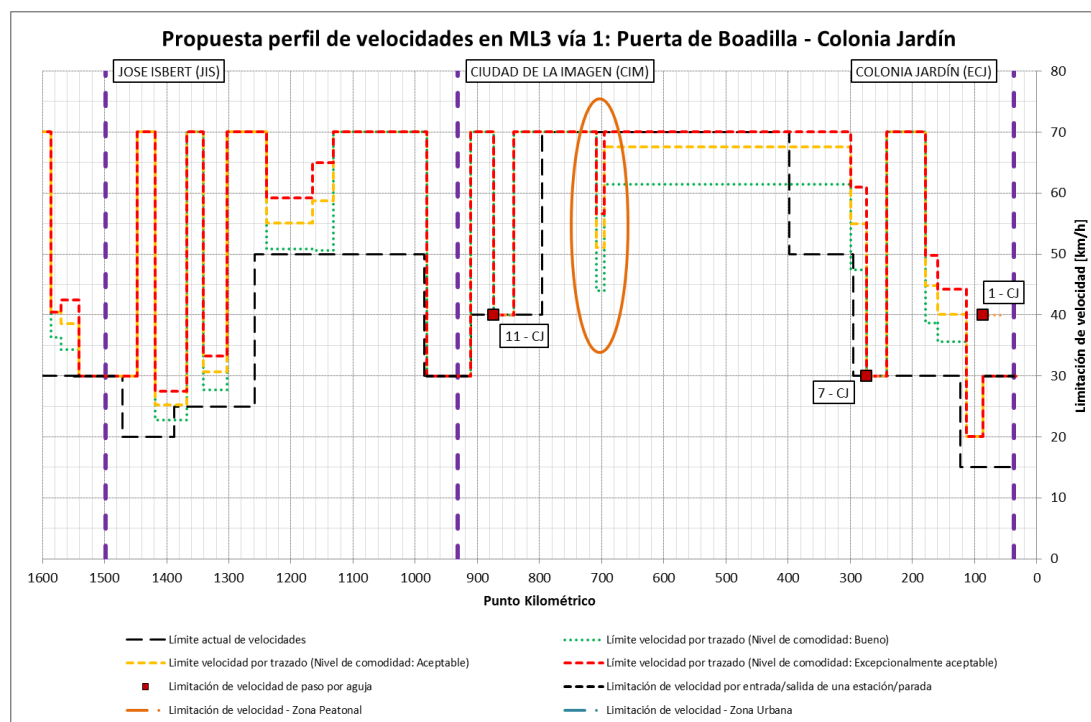


Gráfico 18-14: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 1 entre P.K. 1,600 y estación de Colonia Jardín.

18.2.2 ML3 - Vía 2

Id. 10:

Debido a la existencia de una curva de transición, se puede observar en el Gráfico 18-15, que existe un tramo de 13 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 50 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

En este caso, la aceleración sin compensar no sería el factor limitante. Sin embargo, la variación de aceleración transversal aumentaría hasta un valor de 1.03 m/s^3 . Dicha variación no se aprecia durante la circulación del vehículo.

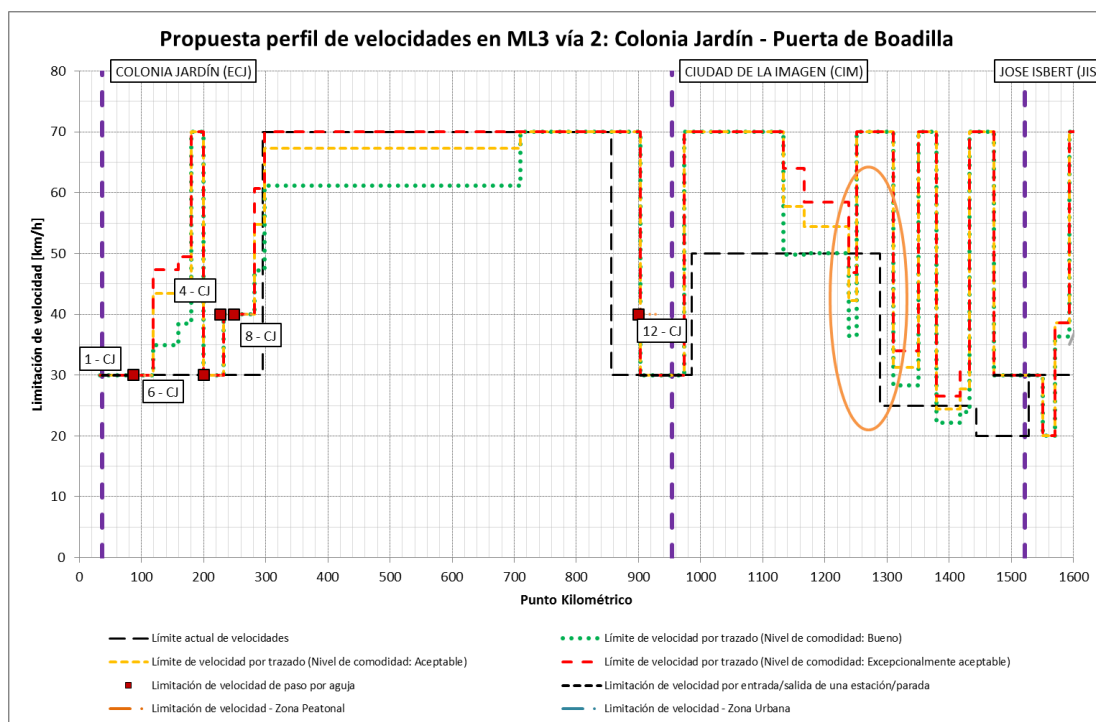


Gráfico 18-15: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre estación de Colonia Jardín y P.K. 1,600.

Id. 11:

Debido a la existencia de una curva de radio 58 metros, se puede observar en el Gráfico 18-16, que existe un tramo de 85 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 30 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero ni riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

La aceleración sin compensar, para una velocidad de circulación de 30 km/h por ese tramo, sería de 1.185 m/s^2 (+18.5% sobre el máximo establecido en la Tabla 5-1). Esto equivaldría a un aceleración total sobre el pasajero de 1.36 m/s^2 (valor superior al definido como excepcionalmente aceptable para pasajeros sentados según Tabla 5-2). Dicha incomodidad teórica no se aprecia durante la circulación del vehículo.

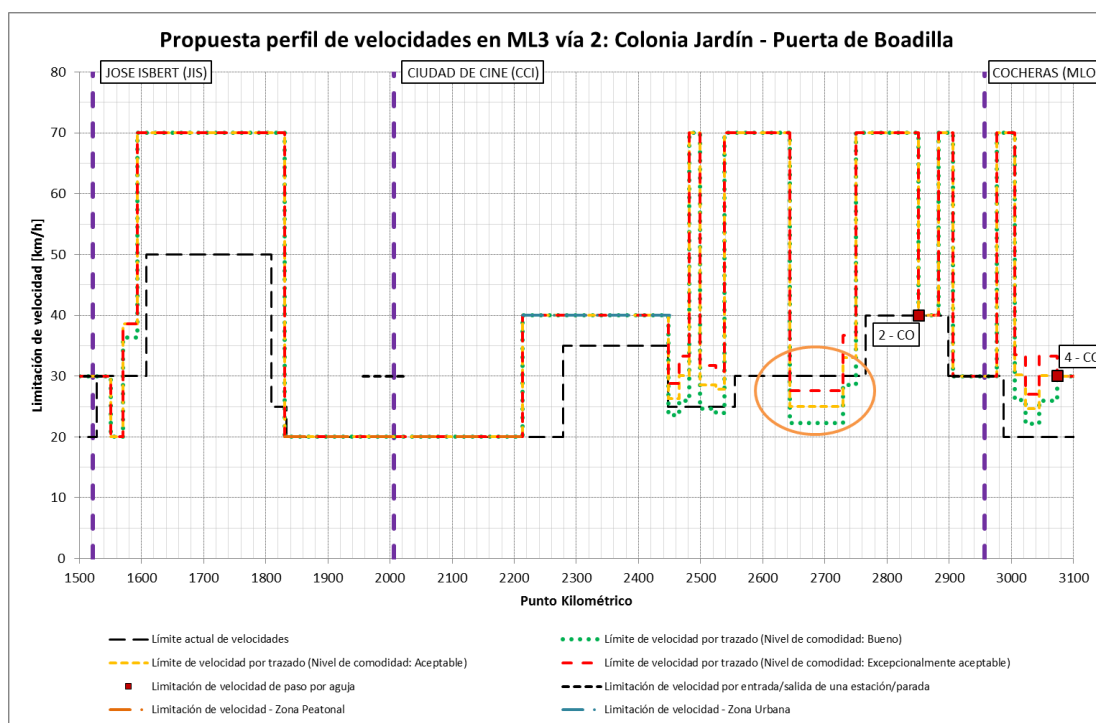


Gráfico 18-16: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.

Id. 12:

Debido a la existencia de una curva de radio 128 metros con sus curvas de transición, se puede observar en el Gráfico 18-17, que la colocación de la señal de limitación de 70 km/h en el P.K. 3,178 dejaría desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva excediendo mínimamente los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Por lo tanto, para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja colocar una limitación a 40 km/h en el P.K. 3,178 y retrasar el límite de 70 km/h al P.K. 3,286.3.

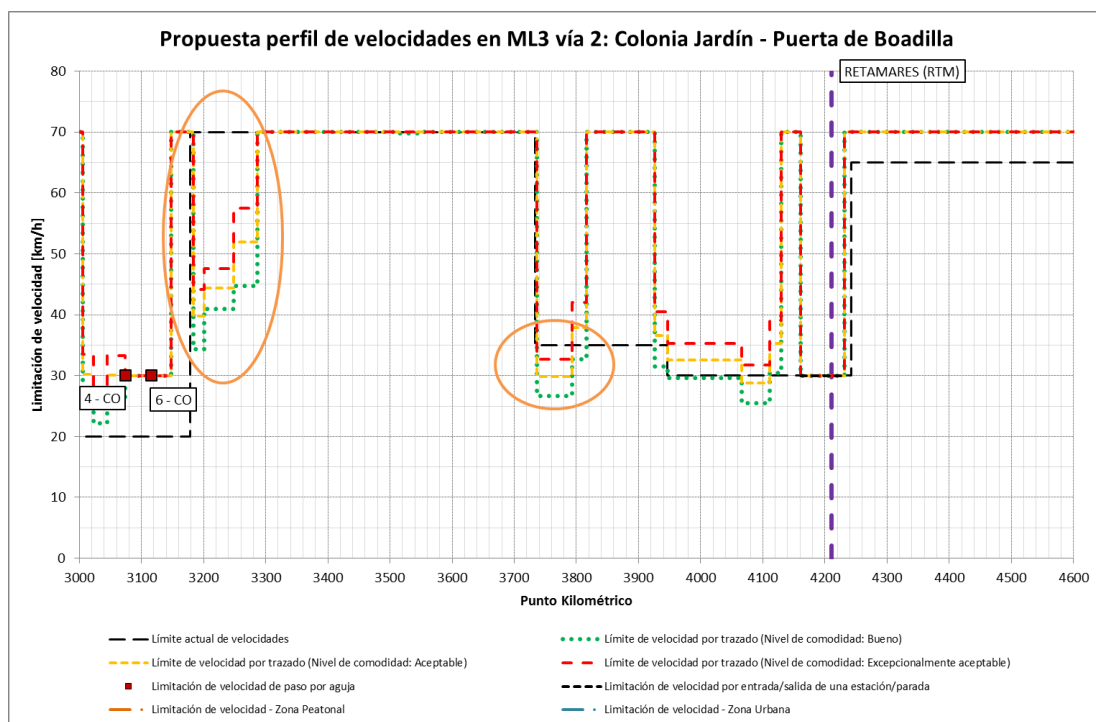


Gráfico 18-17: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 1,500 y P.K. 3,100.

Id. 13:

Debido a la existencia de una curva de radio 78 metros, se puede observar en el Gráfico 18-17, que existe un tramo de 85 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 35 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero ni riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

La aceleración sin compensar, para una velocidad de circulación de 35 km/h por ese tramo, sería de 1.154 m/s^2 (+15.4% sobre el máximo establecido en la Tabla 5-1). Esto equivaldría a un aceleración total sobre el pasajero de 1.32 m/s^2 (valor definido como excepcionalmente aceptable para pasajeros sentados según Tabla 5-2). Dicha incomodidad teórica no se aprecia durante la circulación del vehículo.

Id. 14:

Debido a la existencia de una curva de radio 219.6 metros, se puede observar en el Gráfico 18-18, que la colocación de la señal de limitación de 30 km/h en el P.K. 5,892 deja desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de deceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva sin exceder los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja desplazar la posición de la señal al P.K. 5,881.

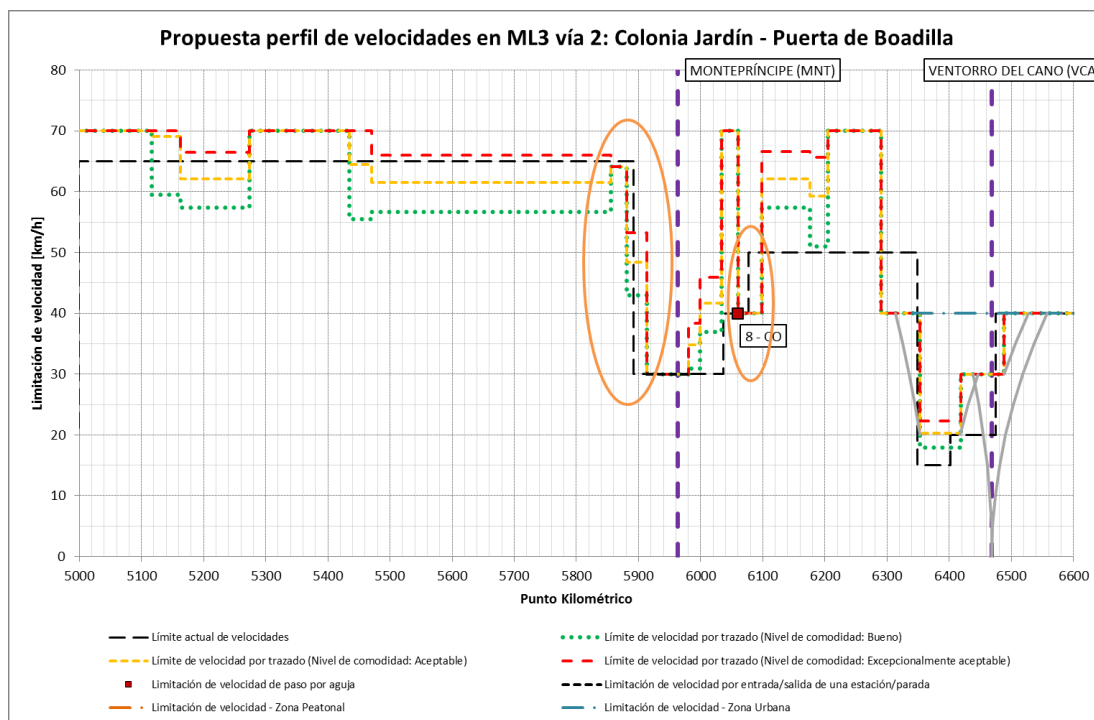


Gráfico 18-18: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 5,000 y P.K. 6,600.

Id. 15:

Como se puede observar en el Gráfico 18-18, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 8-CO ya que permite a los conductores acelerar sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja desplazar esta limitación hasta el P.K. 6,098.9.

Id. 16:

Como se puede observar en el Gráfico 18-19, el actual límite de velocidades sitúa la señal de incremento de velocidad dentro de los 32 metros tras la aguja. Esta situación dejaría desprotegida la aguja 2-PB ya que permite a los conductores acelerar con fuerza, dado que existe un incremento de 30 km/h, sobre ella. Por razones de mantenimiento de la infraestructura, se aconseja desplazar esta limitación hasta el P.K. 8,059.

Id. 17:

La actual limitación de 20 km/h situada en el P.K. 9,696, admitiría el paso a mayor velocidad de la permitida por los límites establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, como se puede ver en el Gráfico 18-19, por dicho punto. Si bien la curva de deceleración, necesaria para alcanzar la velocidad objetivo, garantizaría que no se superará dicho límite, se recomienda adelantar esta limitación al P.K. 9,691.3.

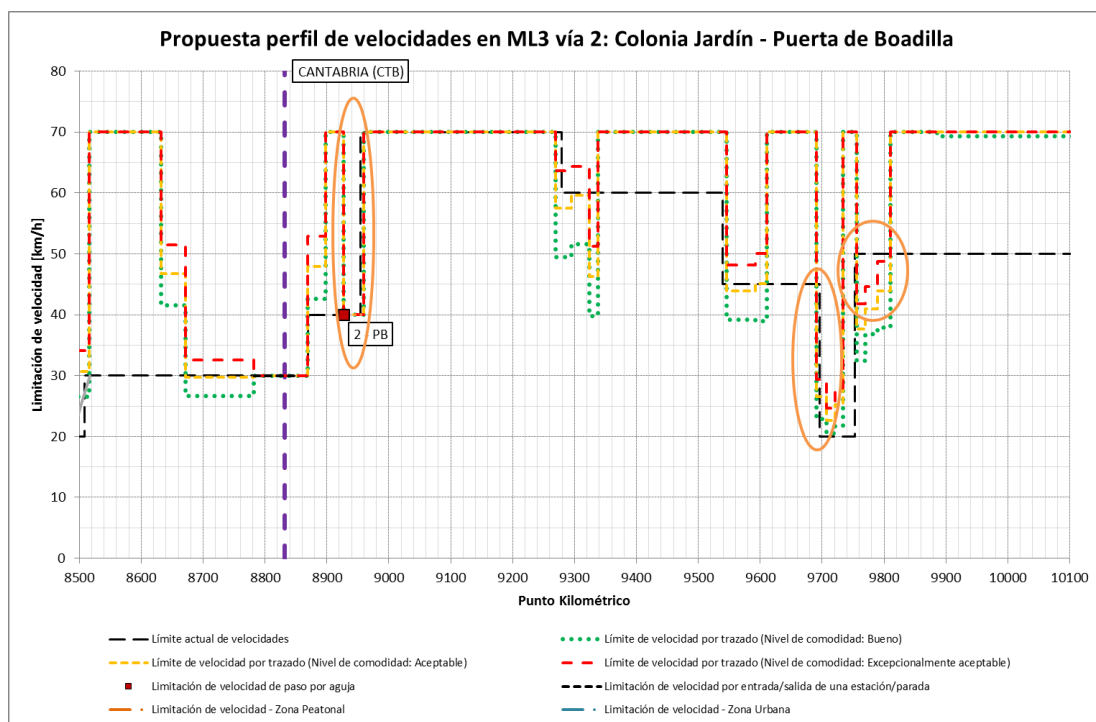


Gráfico 18-19: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 8,500 y P.K. 10,100.

Id. 18:

Debido a la existencia de una curva de radio 138.7 metros con sus curvas de transición, se puede observar en el Gráfico 18-19, que la colocación de la señal de limitación de 50 km/h en el P.K. 9,753 dejaría desprotegida dicha zona. A pesar de que la curva de aceleración del vehículo permitiría el paso por dicha curva excediendo mínimamente los límites de velocidad establecidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable, esta situación no es deseable.

Por lo tanto, para garantizar un nivel de comodidad aceptable para el pasajero se aconseja colocar una limitación a 40 km/h en el P.K. 9,753 y retrasar el límite de 50 km/h al P.K. 9,810.

Id. 19:

Debido a la existencia de una curva de radio 59.3 metros, se puede observar en el Gráfico 18-20, que existe un tramo de 45.5 metros en el que el actual perfil de velocidades excede los valores máximos definidos para un nivel de comodidad excepcionalmente aceptable. Sin embargo, en dicho punto se circula con normalidad a velocidades de 30 km/h sin apreciarse incomodidad para el pasajero ni riesgo para la circulación.

Por ello, tras realizar las pruebas en vía y para no penalizar los tiempos de viaje, en dicho punto se recomienda mantener el límite actual.

La aceleración sin compensar, para una velocidad de circulación de 30 km/h por ese tramo, sería de 1.162 m/s^2 (+16.2% sobre el máximo establecido en la Tabla 5-1). Esto equivaldría a un

aceleración total sobre el pasajero de 1.33 m/s^2 (valor superior al definido como excepcionalmente aceptable para pasajeros sentados según Tabla 5-2). Dicha incomodidad teórica no se aprecia durante la circulación del vehículo.

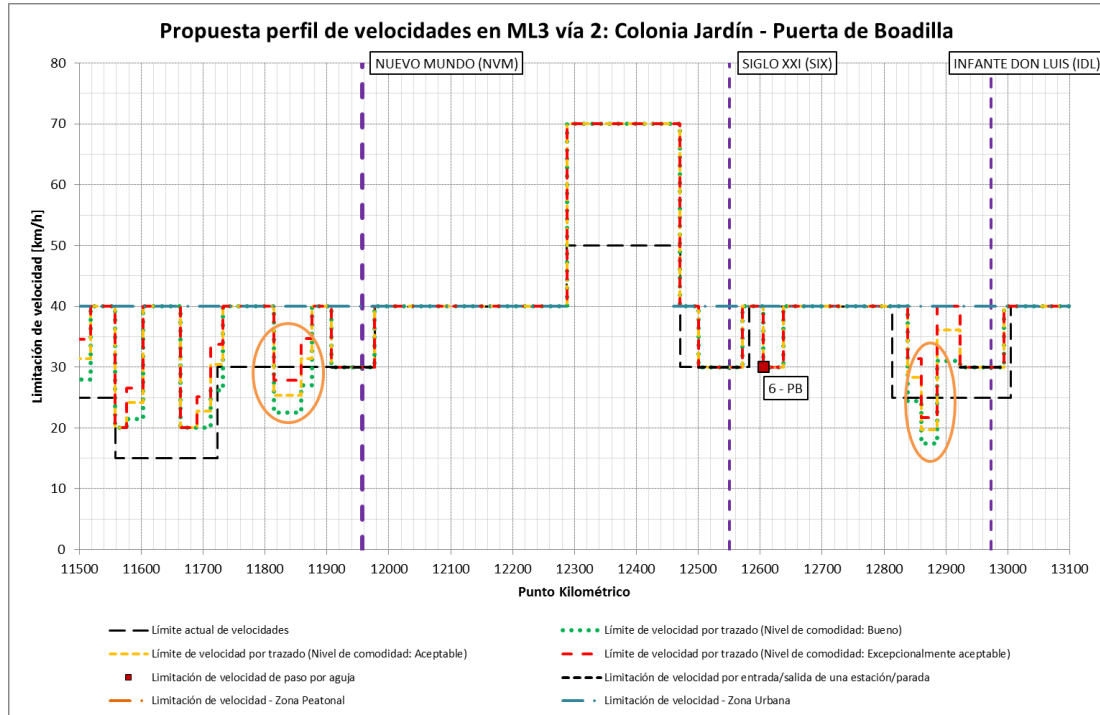


Gráfico 18-20: Puntos de revisión de velocidades en ML3 – Vía 2 entre P.K. 8,500 y P.K. 10,100.

Id. 20:

Como se puede observar en el Gráfico 18-20, la existencia de una curva circular de radio 36 limita la velocidad máxima a 20 km/h en dicho punto. Por ello, se debería colocar una limitación de 20 km/h entre el P.K. 12,860 y el P.K. 12,885.4.

18.2.3 Resumen de cambios recomendados en ML3

Vía	Id.	Tipo de cambio		P.K. actual	Nuevo P.K.	Límite de velocidad actual	Nuevo límite de velocidad	Observaciones
		Pos.	Veloc.					
1	1	✓	✓	-	12,886.0	30 km/h	20 km/h	Hasta P.K. 12,858.0
	2	✓	✗	12,573.0	12,580.0	30 km/h	-	Proteger aguja 5-PB
	3	✗	✗	11,874.4	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	4	✓	✓	-	9,810.2	50 km/h	40 km/h	Hasta P.K. 9,733.9
		✓	✗	9,728.0	9,733.9	20 km/h	-	-
	5	✗	✗	9,339.4	-	60 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	6	✓	✗	6,827.0	6,816.0	40 km/h	-	-
	7	✗	✗	3,793.0	-	35 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	8	✓	✓	3,264.0	3,286.3	70 km/h	40 km/h	-
		✗	✓	3,264.0	-	30 km/h	-	Se elimina limitación
2	9	✓	✓	708.7	796.0	70 km/h	50 km/h	-
		✓	✓	-	695.6	-	70 km/h	-
	10	✗	✗	1,237.8	-	50 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	11	✗	✗	2,643.5	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	12	✗	✓	3,178.0	-	70 km/h	40 km/h	-
		✓	✓	-	3,286.3	-	70 km/h	-
	13	✗	✗	3,733.0	-	35 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	14	✓	✗	5,892.0	5,881.0	30 km/h	-	-
	15	✓	✗	6,077.0	6,908.9	50 km/h	-	Proteger aguja 8-CO
	16	✓	✗	8,054.0	8,059.0	70 km/h	-	Proteger aguja 2-PB
	17	✓	✗	9,696.0	9,691.3	20 km/h	-	-
	18	✗	✓	9,753.0	-	50 km/h	40 km/h	-
		✓	✓	-	9,810.0	-	50 km/h	-
2	19	✗	✗	11,813.9	-	30 km/h	-	Pruebas en vía muestran que se puede mantener límite
	20	✓	✓	-	12,860.0	25 km/h	20 km/h	Hasta P.K. 12,885.4

19 Anexo 6: Primer perfil teórico propuesto

19.1 Propuesta perfil teórico ML2 - Vía 1 con anotaciones para pruebas en vía.

Perfil de velocidades propuesto para ML2 - Vía 1		
P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo	Comentarios
8671.9	Estación de Aravaca	
8671.9	15	
8585.4	30	¿Aceleración sobre Bretelle? La limitación se situaría justo antes...
8528.0	45	Una vez liberada bretelle
8352.8	25	Prácticamente en mismo punto que límite actual a 20 km/h, incremento de 5 km/h. (Coincide con propuesta previa RL)
8230.4	40	Una vez liberada aguja
8037.0	10	Se mantiene limitación actual
7966.8	Berna	
7908.6	40	Se mantiene limitación actual
7841.0	70	Justo tras liberar aguja. ¿Se puede llegar?
7393.9	30	Prácticamente en mismo punto que límite actual a 25 km/h, incremento de 5 km/h
7325.2	Avenida de Europa	
7305.0	40	¿Seccionador que límite velocidad?
7236.1	50	Prácticamente (un poco antes) donde se sitúa la señal de 40 km/h
7078.3	70	10 metros antes a actual posición de señal de 60 km/h
6753.1	30	Límite actual a 25 km/h. P.K. 6,730 a 6,700 -> ¿Se justifica que no se limite a 25 km/h?
6613.1	Campus de Somosaguas	
6493.4	50	10 metros antes a actual posición de señal de 45 km/h (Coincide con propuesta previa RL)
6213.5	20	Poco después (~5m) de posición actual
6112.9	30	Nueva (Coincide con propuesta previa RL)
6011.9	Dos Castillas	
5973.1	50	~20m antes de posición actual
5646.0	40	Justo antes de aguja
5542.0	20	Coincide con actual límite
5472.8	Bélgica	
5397.5	40	20 metros antes a actual posición de señal de 30 km/h (Coincide con propuesta previa RL)
5275.8	35	Nueva (al poco de entrar en el túnel)
5181.6	20	Coincide con actual límite
5127.5	30	~40m antes de posición actual
4967.3	40	~40m antes de posición actual
4824.1	50	Nueva (Coincide con propuesta previa RL)
4643.0	40	Justo antes de aguja
4611.0	70	Coincide con actual límite
4272.5	55	Nueva para asegurar curva de frenado
4178.0	30	Coincide con actual límite
4128.0	Pozuelo Oeste	
4027.1	25	Nueva. Justo antes de entrar al túnel.
3893.0	65	Justo tras salir del túnel
3530.0	30	Justo antes de aguja (unos 20 metros antes de actual limitación)
3472.3	Somosaguas Centro	
3199.2	60	Cuando se entra en la recta tras salir del túnel.
2916.6	30	Prácticamente (un poco antes) donde se sitúa actual límite de 30 km/h
2820.0	15	Coincide con actual límite
2810.0	10	Coincide con actual límite
2732.8	Somosaguas Sur	
2700.0	15	Coincide con actual límite
2621.9	40	~30 metros tras superar límite actual a 35 km/h, incremento de 5 km/h (Coincide con propuesta previa RL)
2442.5	20	Poco después (~5m) de posición actual
2354.4	50	~10m antes de posición actual
2035.0	40	Justo antes de aguja
1996.2	30	Tras liberar aguja, entrando en parada
1946.2	Prado del Rey	
1926.2	40	Coincide con actual límite
1751.7	30	Desplazada ~25 metros, a 5 metros de entrar en el túnel. ¿¿VISIBLE?? Limitación de 25 km/h hasta CLA eliminada (Coincide con propuesta previa RL)
1488.1	Colonia de los Angeles	
1476.2	20	Límite de 20 km/h a salida de parada. Superior en 5 km/h a actual límite. ¿Ruido? ¿Golpe?
1388.9	50	~20m antes de posición actual
1147.6	40	Coincide con actual límite
918.9	30	Coincide con actual límite
868.9	Prado de la Vega	
848.9	40	Coincide con actual límite
780.0	45	Coincide con actual límite Limitación de 40 km/h sobre viaducto eliminada (Coincide con propuesta previa RL)
280.0	30	Coincide con actual límite
32.9	Colonia Jardín	

19.2 Propuesta perfil teórico ML2 - Vía 2 con anotaciones para pruebas en vía.

Perfil de velocidades propuesto para ML2 - Vía 2		
P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo	Comentarios
79.1	Colonia Jardín	
79.1	20	
114.2	30	Una vez liberada aguja
306.0	45	Desplazada. Una vez liberada aguja. Limitación de 40 km/h sobre viaducto eliminada (Coincide con propuesta previa RL)
837.0	30	Desplazar a justo antes de la aguja. ¿Actual limitación debida a aislador?
898.0	Prado de la Vega	
918.0	40	Justo en la salida de parada
1147.0	55	~20 metros tras superar límite actual a 50 km/h, incremento de 5 km/h Una vez superada curva previa a salida de túnel
1399.5	20	Comienzo en poste siguiente a donde actualmente se sitúa el límite. Propuesta previa RL proponía 15 km/h, ¿golpe? ¿ruido?
1508.6	Colonia de los Angeles	
1528.6	30	Aplica desde salida de parada.
1761.6	45	~20 metros antes a actual posición de señal de 45 km/h Justo a la salida del túnel
1926.0	30	6 metros tras actual límite. Entrada en parada.
1976.0	Prado del Rey	
2092.0	50	Tras liberar cruce y aguja.
2359.4	20	Coincide con actual límite
2448.1	40	~30m antes de posición actual
2631.4	20	~10 metros tras superar límite actual a 15 km/h, incremento de 5 km/h (Coincide con propuesta previa RL)
2700.0	15	Nueva. A la altura del muro de separación de andén central (Coincide con propuesta previa RL)
2767.9	Somosaguas Sur	
2850.0	30	Coincide con actual límite
2916.5	55	~5 metros tras superar límite actual a 50 km/h, incremento de 5 km/h Comprobar que se puede alcanzar límite de 55 km/h
3210.9	30	Comienzo en poste siguiente a donde actualmente se sitúa el límite.
3495.7	Somosaguas Centro	
3515.7	40	Aplica desde salida de parada.
3587.0	60	Una vez liberada aguja
3861.0	40	En esta posición se sitúa limitación actual de 20 km/h.
3950.4	20	Nueva. Tras entrar en el túnel.
4032.9	30	Tras liberar curva, una vez se ha salido del túnel
4150.4	Pozuelo Oeste	
4170.4	50	Aplica desde salida de parada.
4277.9	70	Nueva. Una vez se encara la recta. Acelerando desde salida de parada se llegaría a 70 km/h después de esta limitación. ¿Llegamos? ¿Exceso de consumo? RL valoraron en su momento un 60
4668.0	40	Justo antes de aguja (unos 40 metros tras actual limitación)
4700.0	45	Una vez liberada aguja
4914.6	35	Limitación unos 60 metros tras actual límite de 30, una vez entrado en túnel (a unos 15 metros de la boca). Incremento de 5 km/h como propuesta de RL. Necesaria un a valoración de ruido. Punto actualmente crítico.
5103.5	20	Coincide con actual límite
5182.0	35	Límite unos 40 metros antes de la señal de actual límite de 30 km/h. Junto a pozo de bombas. Incremento como propuesto por RL. ¿Ruido?
5307.9	40	Unos 5 metros antes de actual limitación. Una vez se ha salido del túnel.
5452.8	30	Coincide con actual límite
5502.8	Bélgica	
5522.8	40	Coincide con actual límite
5702.0	50	Una vez liberada aguja
5991.0	30	Unos 20 metros tras actual limitación. Entrada en parada.
6041.0	Dos Castillas	
6068.9	20	Coincide con actual límite
6164.3	15	Coincide con actual límite
6220.1	50	Comienzo en poste anterior a donde actualmente se sitúa el límite. (Coincide con propuesta RL)
6493.5	30	Coincide con actual límite. Tras parada, se elimina limitación 25 km/h
6640.0	Campus de Somosaguas	
6753.2	65	Comienzo en poste anterior a donde actualmente se sitúa el límite. (Coincide con propuesta RL) ¿Llegamos?
7089.3	50	Limitación unos 20 metros tras actual límite de 45.
7236.0	25	Actual limitación de 15 km/h. Propuesta de los RL era 20 km/h. En la reunión se aceptó valorar 25 km/h
7352.5	Avda. Europa	
7393.6	65	Aplica desde salida de parada.
7880.0	40	Justo antes de aguja (unos 20 metros tras actual limitación)
7930.0	20	Una vez liberada aguja
7995.4	Berna	
8020.8	40	Aplica desde salida de parada.
8232.7	25	Comienzo en los postes siguientes a donde actualmente se sitúa el límite. (Incremento a 25 km/h coincide con propuesta RL)
8331.0	30	~10 metros tras superar límite actual a 15 km/h
8385.0	40	Una vez liberada aguja
8526.0	30	Antes de aguja
8581.4	20	¿Frenado sobre Bretelle? La limitación se situaría justo antes...
8669.1	Estación de Aravaca	

19.3 Propuesta perfil teórico ML3 - Vía 1 con anotaciones para pruebas en vía.

Perfil de velocidades propuesto para ML3 - Vía 1		
P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo	Comentarios
13620.0	15	
13549.4	Puerta de Boadilla	
13540.0	30	Desde salida de parada. Elimina limitación de 20 km/h.
13408.7	20	Nueva. Primer poste sobre rotonda. Elimina limitación posterior de 15 km/h. Incremento de 5 km/h, ¿golpe?
13294.4	40	Nueva. Dos postes antes de actual límite de 30 km/h. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
12998.3	30	Entrada parada.
12948.3	Infante Don Luis	
12886.4	25	Actual limitación traslada un poste. Primer poste sobre rotonda.
12859.8	40	Nueva. Último poste sobre rotonda. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
12580.0	30	Justo antes de aguja. Retrasar limitación a poste anterior.
12522.6	Siglo XXI	
12470.0	50	Retrasar actual límite. Tras paso de peatones.
12290.0	40	Adelantar actual límite. Antes de paso de peatones.
11974.5	30	Justo antes de parada.
11924.5	Nuevo Mundo	
11894.1	25	Desde salida de parada. Reducción de 5 km/h de actual límite. Valorar mantenerlo.
11827.7	35	Penúltimo poste antes de salir de rotonda. Incremento de 5 km/h sobre límite actual
11731.5	30	Poste anterior a actual señal de límite a 15 km/h
11711.5	20	Poste posterior a actual señal de límite a 15 km/h.
11578.6	25	Incremento de 5 km/h. ¿Ruido? ¿Golpe? ¿Discomfort?
11553.9	30	¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
11331.7	30	Poste anterior a actual límite de 25 km/h.
11331.7	Boadilla Centro	
11311.7	25	Incremento de 5 km/h. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
11213.0	40	Desde salida de parada.
10863.3	25	Una vez liberada aguja. Actual señal se traslada ~20 metros.
10816.3	40	Se elimina limitación de 30 km/h.
10703.3	30	Limitación de 20 km/h se traslada a siguiente poste. Incremento de 5 km/h.
10653.3	Ferial de Boadilla	
10633.3	40	¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
10480.1	35	Nueva. Para garantizar curva de frenado.
10251.0	20	¿Posible retrasar 20 metros?
10135.6	60	Coincide con límite actual.
9810.2	40	Adelantar dos poste límite actual.
9733.9	20	Coincide con límite actual.
9686.1	45	Coincide con límite actual.
9532.5	60	¿Golpe/ruido en P.K. 9,340?
9270.1	70	Nueva. ¿Se llega? ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
8954.0	55	Incremento de 15 km/h sobre limitación actual. Para asegurar curva de frenado.
8900.0	40	Justo antes de aguja. Retrasar limitación tres postes.
8860.0	30	Coincide con límite actual. Se mantiene tras parada.
8810.0	Cantabria	
8653.3	40	Coincide con límite actual.
8508.8	20	Coincide con límite actual.
8443.0	70	Coincide con límite actual. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
7715.0	55	Incremento de 15 km/h sobre limitación actual. Para asegurar curva de frenado.
7640.0	40	Nueva. Poste anterior a la intersección con la rotonda.
7326.4	30	Se elimina limitación de 50 km/h, se puede valorar mantenerla pero...¿se alcanza 50 km/h?
7276.4	Prado del Espino	
7256.4	40	Coincide con límite actual.
6928.0	30	Desde salida de parada. Se elimina limitación de 50 km/h, se puede valorar mantenerla pero...¿se alcanza 50 km/h?
6815.8	40	Coincide con posición límite actual. Incremento de 5 km/h
6498.6	30	Trasladar actual límite un poste.
6448.6	Ventorro del Cano	
6414.0	20	Coincide con límite actual.
6340.0	50	Coincide con límite actual. Se elimina limitación de 40 km/h.
6032.9	30	Justo antes de aguja.
5935.5	Montepríncipe	
5904.5	30	
5856.3	65	Desde salida de parada
5045.0	40	Coincide con límite actual. Se adelanta 10 metros.
4979.7	20	Coincide con límite actual.
4923.1	45	Coincide con límite actual.
4656.7	50	Se adelanta limitación actual un poste. Incremento de 10 km/h.
4625.2	70	¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
4300.0	50	Nueva. Tras parada fantasma.
4237.7	30	Se adelanta limitación actual un poste. Incremento de 5 km/h.
		¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura? ¿Se llega?
		Nueva. Para garantizar curva de frenado.
		Coincide con límite actual.

4187.7	Retamares	
4167.7	30	Desde salida de parada. Coincide con límite actual.
3929.0	40	Coincide con posición límite actual. Incremento de 5 km/h.
3793.9	35	Nueva. Tras salida de viaducto. Coincide con actual límite pero evaluar si hay golpes/ruidos.
3704.0	70	Coincide con límite actual.
3286.3	45	Sustituye a actual límite de 30 km/h. Se colocaría ~20 metros antes.
3201.4	20	Justo antes de aguja. Coincide con límite actual.
2932.3	Cocheras	
2912.3	40	Desde salida de parada.
2750.7	25	Coincide con límite actual. Reducción de 5 km/h.
2634.2	35	Nueva. Justo antes de salir del túnel. ¿Se llega? ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura? ¿Discomfort?
2538.7	25	Coincide con límite actual.
2439.3	40	Se retrasa ~10 metros límite actual. Incremento de 5 km/h
2280.0	20	Coincide con límite actual.
1983.7	Ciudad del Cine	
1830.0	50	Coincide con límite actual.
1586.2	40	Límite actual se retrasa un poste. Incremento de 10 km/h.
1541.6	30	Justo antes de parada. Se mantiene en salida
1498.8	José Isbert	
1471.0	25	Coincide con límite actual. Incremento de 5 km/h.
1367.6	30	Límite actual se retrasa dos postes. Incremento en 5 km/h. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
1303.2	55	Límite actual se adelanta dos postes. Incremento en 5 km/h. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
1165.9	60	Nueva.
981.4	30	Justo antes de parada.
931.4	Ciudad de la Imagen	
911.4	40	Desde salida de parada.
842.0	55	Una vez liberada aguja. Límite de 70 se retrasa.
695.6	70	Nueva.
360.0	50	Actual límite se retrasa poste y medio.
274.0	30	Justo antes de aguja. A la altura del muro de trinchera.
123.0	15	Coincide con límite actual.
37.1	Colonia Jardín	

19.4 Propuesta perfil teórico ML3 - Vía 2 con anotaciones para pruebas en vía.

Perfil de velocidades propuesto para ML3 - Vía 2		
P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo	Comentarios
37.1 Colonia Jardín		
37.1	30	Coincide con límite actual
298.4	70	Coincide con límite actual
884.0	30	Justo antes de aguja. Dos postes después de actual limitación.
953.5 Ciudad de la Imagen		
973.5	50	Justo en la salida de parada. ¿¿Golpe, ruido, discomfort,... en P.K. 1,240??
1310.0	25	Actual limitación se retrasa un poste. Se elimina limitación actual en P.K. 1,440 Valorar 20 a partir de P.K. 1,380. ¿Golpe/discomfort en este punto?
1521.4 José Isbert		
1528.0	30	Coincide con límite actual
1592.9	50	Actual limitación de 50 km/h se adelanta un poste.
1809.0	25	Coincide con límite actual
1830.0	20	Coincide con límite actual. Zona peatonal.
2006.2 Ciudad del Cine		
2280.0	40	Incremento de 5 km/h sobre límite actual. Posición idéntica a señal actual. ¿Se puede alcanzar?
2448.3	25	Coincide con límite actual
2538.5	35	Se adelanta un poste actual limitación. Incremento de 5 km/h. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura? ¿Se alcanza velocidad? ¿Confortable con frenado posterior?
2643.5	25	Nueva. 40 metros tras entrar en túnel.
2728.9	30	Nueva. Altura armario.
2750.1	40	Trasladar limitación a justo antes de salida del túnel (~15 metros) ¿Visible?
2906.4	30	Justo antes de parada.
2956.4 Cocheras		
2976.4	25	Desde salida de parada. Valorar. ¿Ruido, golpe?
3148.0	30	Una vez liberada aguja.
3183.7	40	Sobre actual limitación de 70 km/h
3286.3	70	Nueva. ¿Penaliza mucho alcanzar la velocidad máxima? Si se mantiene actual limitación, no se excederían valores debido a la aceleración del vehículo
3736.5	30	Coincide con límite actual. Reducción de 5 km/h. Valorar mantener actual límite.
3792.8	40	Nueva. 4 postes tras anterior limitación
3925.9	30	Adelantar un poste
4211.0 Retamares		
4231.0	70	Desde salida de parada.
4625.2	45	~5 metros antes de limitación actual a 35 km/h. Incremento de 10 km/h. Sobre papel se puede, ¿valorar en dos etapas el incremento? Cercanía de parada fantasma.
4922.6	20	Coincide con límite actual
4979.3	65	Se adelanta un poste y medio actual limitación. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
5855.4	50	Nueva
5912.9	30	Se retrasa a inicio parada. ¿Reducir límite anterior para mejorar posibles ruidos, confort,...?
5962.9 Montepríncipe		
5980.0	30	Desde salida de parada
5999.5	40	Tras superar actual límite de 30 km/h.
6098.9	55	Una vez liberada aguja.
6340.0	20	Incremento de 5 km/h sobre límite actual. Posición idéntica a señal actual. ¿Ruidos, seguro por visibilidad de tráfico?
6418.0	30	En entrada en parada. Sólo aplicaría a servicios directos sin parada.
6468.3 Ventorro del Cano		
6488.3	40	Se retrasa al siguiente poste para proteger parada.
6828.1	25	Coincide con límite actual.
6936.6	40	Se adelanta 10 metros (se colocaría entre poste actual y poste anterior) ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura? Se elimina limitación de 50 km/h, se puede valorar mantenerla pero...¿se alcanza 50 km/h?
7245.4	30	Coincide con limitación actual
7295.4 Prado del Espino		
7315.4	40	Desde salida de parada. Se elimina limitación de 50 km/h, se puede valorar mantenerla pero...¿se alcanza 50 km/h?
7640.0	70	Se adelanta al poste anterior a la parada fantasma, tras el cruce de la rotonda.
8377.0	40	Coincide con límite actual
8444.6	20	Coincide con límite actual
8508.0	30	Coincide con límite actual
8516.5	45	Nueva. Semi-distancia entre postes tras limitación anterior.
8671.3	30	Nueva. Poste 332. Justo antes de curva de entrada a parada de Cantabria.
8831.5 Cantabria		
8868.8	40	Coincide con limitación actual
8959.0	70	Coincide con limitación actual. Una vez liberada aguja.
9270.0	60	~10 metros antes a actual limitación
9337.7	65	Nueva. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
9545.5	45	Coincide con limitación actual
9691.4	20	Coincide con limitación actual
9753.0	40	Reducción de 10 km/h sobre limitación actual.
9810.0	60	Nueva.
10080.0	40	Nueva.

10140.3	20	Se retrasa un poste actual limitación.
10165.3	25	Nueva. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura? ¿Suficiente con liberar freno?
10252.7	35	Coincide con límite actual
10475.7	40	Nueva. ¿Golpe en parte posterior por aceleración prematura?
10624.2	30	Justo antes de parada.
10674.2	Ferial de Boadilla	
10694.2	35	Desde salida de parada. Incremento 5 km/h límite actual.
10816.6	25	Incremento de 5 km/h sobre límite actual.
10883.0	40	Coincide con límite actual
11260.0	30	Nueva. Justo antes de aguja.
11351.7	Boadilla Centro	Limitación de 30 km/h se mantiene tras salida de parada. Se elimina limitación de 25 km/h
11558.1	20	Se adelanta un poste limitación de 15 km/h. Se incrementa en 5 km/h. ¿Ruido? ¿Golpe?
11723.0	30	Coincide con límite actual. Verificar que no existe golpe, ruido o discomfort en P.K. 11,820.
11956.7	Nuevo Mundo	
11976.7	40	Desde salida de parada
12300.4	55	Coincide con límite actual. Incremento de 5 km/h
12460.0	40	Coincide con límite actual. Incremento de 10 km/h
12500.0	30	Justo antes de parada.
12550.8	Siglo XXI	
12637.0	40	Se retrasa. Una vez liberada aguja.
12838.4	25	Se retrasa un poste actual limitación. ¿Visible? Evaluar que no hay discomfort en P.K. 12,840
12973.3	Infante Don Luis	
12993.3	40	Desde salida de parada
13297.6	15	Coincide con límite actual.
13370.0	20	Coincide con límite actual. Se elimina limitación siguiente de 15 km/h.
13579.3	Puerta de Boadilla	
13596.0	15	Coincide con límite actual. No efecto en tiempos de viaje.
13689.9		

20 Anexo 7: Propuesta de perfil de velocidades optimizado

20.1 Propuesta perfil optimizado para ML2 - Vía 1

P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo
8671.9	Estación de Aravaca
8671.9	15
8585.4	30
8528.0	45
8352.8	25
8230.4	40
8037.0	10
7966.8	Berna
7908.6	40
7841.0	50
7393.9	25
7325.2	Avenida de Europa
7255.0	40
7236.1	50
7078.3	60
6753.1	30
6613.1	Campus de Somosaguas
6493.4	50
6213.5	15
6112.9	20
6011.9	Dos Castillas
5973.1	50
5646.0	40
5542.0	20
5472.8	Bélgica
5377.8	40
5275.8	35
5181.6	20
5080.0	30
4967.3	40
4824.1	50

4643.0	40
4611.0	70
4272.5	55
4178.0	30
4128.0	Pozuelo Oeste
4027.1	20
3893.0	60
3530.0	30
3472.3	Somosaguas Centro
3199.2	50
2916.6	25
2820.0	15
2810.0	10
2732.8	Somosaguas Sur
2700.0	15
2621.9	40
2442.5	20
2354.4	55
2035.0	30
1946.2	Prado del Rey
1926.2	40
1777.4	30
1488.1	Colonia de los Ángeles
1476.2	10
1371.4	50
1147.6	40
918.9	30
868.9	Prado de la Vega
848.9	40
780.0	45
280.0	30
32.9	Colonia Jardín

20.2 Propuesta perfil optimizado para ML2 - Vía 2

P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo
79.1	Colonia Jardín
79.1	20
114.2	30
306.0	45
837.0	30
898.0	Prado de la Vega
918.0	40
1147.0	50
1399.5	15
1508.6	Colonia de los Ángeles
1528.6	30
1761.6	45
1926.0	30
1976.0	Prado del Rey
2092.0	50
2359.4	20
2480.0	40
2631.4	20
2700.0	15
2767.9	Somosaguas Sur
2850.0	30
2916.5	50
3210.9	30
3495.7	Somosaguas Centro
3515.7	40
3587.0	60
3861.0	30
3950.4	25
4150.4	Pozuelo Oeste
4170.4	50
4277.9	60

4668.0	40
4700.0	45
4914.6	30
5103.5	20
5200.0	35
5307.9	40
5452.8	30
5502.8	Bélgica
5522.8	40
5702.0	50
5991.0	30
6041.0	Dos Castillas
6068.9	15
6164.3	15
6237.1	50
6493.5	30
6640.0	Campus de Somosaguas
6774.7	60
7089.3	50
7236.0	15
7352.5	Avda. Europa
7420.0	65
7880.0	40
7930.0	20
7995.4	Berna
8020.8	30
8232.7	25
8385.0	40
8526.0	30
8581.4	20
8669.1	Estación de Aravaca

20.3 Propuesta perfil optimizado para ML3 – Vía 1

P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo
13620.0	15
13549.4	Puerta de Boadilla
13540.0	20
13340.0	15
13280.0	40
12998.3	30
12948.3	Infante Don Luis
12919.0	20
12810.0	40
12580.0	30
12522.6	Siglo XXI
12470.0	50
12290.0	40
11974.5	30
11924.5	Nuevo Mundo
11894.1	30
11723.0	15
11665.0	20
11600.0	15
11547.0	25
11331.7	Boadilla Centro
11311.7	25
11213.0	40
11103.0	30
10980.0	35
10863.8	20
10816.3	40
10703.3	30
10653.3	Ferial de Boadilla
10633.3	35
10480.1	35
10251.0	20
10125.0	50
9810.2	40
9733.9	20
9663.0	30
9532.5	60
8900.0	40
8860.0	30
8810.0	Cantabria
8653.3	40
8508.8	20
8420.0	70
7715.0	55
7640.0	40
7326.4	30
7276.4	Prado del Espino

7256.4	40
6928.0	30
6815.8	40
6498.6	30
6448.6	Ventorro del Cano
6414.0	20
6340.0	45
6032.9	30
5935.5	Montepríncipe
5904.5	30
5846.3	65
5045.0	40
4979.7	20
4910.0	40
4625.2	65
4237.7	30
4187.7	Retamares
4167.7	30
3929.0	40
3793.9	35
3704.0	70
3264.0	40
3193.0	20
3065.0	15
2932.3	Cocheras
2912.3	40
2745.0	30
2634.2	35
2538.7	25
2439.3	40
2280.0	20
1983.7	Ciudad del Cine
1830.0	50
1608.0	30
1498.8	José Isbert
1471.0	20
1363.7	25
1276.0	55
981.4	30
931.4	Ciudad de la Imagen
911.4	40
842.0	55
695.6	70
360.0	50
274.0	30
123.0	15
37.1	Colonia Jardín

20.4 Propuesta perfil optimizado para ML3 – Vía 2

P.K. Inicio	Límite de velocidad en tramo
37.1	Colonia Jardín
37.1	30
298.4	70
884.0	30
953.5	Ciudad de la Imagen
973.5	50
1310.0	25
1443.0	20
1521.4	José Isbert
1528.0	30
1592.9	50
1809.0	25
1830.0	20
2006.2	Ciudad del Cine
2280.0	40
2448.3	25
2538.5	35
2640.0	30
2750.1	40
2906.4	30
2956.4	Cocheras
2988.0	20
3183.7	40
3286.3	70
3736.5	30
3792.8	40
3940.0	30
4211.0	Retamares
4231.0	70
4625.2	40
4922.6	20
4995.0	65
5855.4	50
5912.9	30
5962.9	Montepríncipe
5980.0	30
6035.0	40
6098.9	55
6340.0	20
6468.3	Ventorro del Cano
6475.0	40
6828.1	25
6936.6	40
7245.4	30
7295.4	Prado del Espino
7315.4	40
7640.0	70
8377.0	40
8444.6	20
8528.0	40
8671.3	30
8831.5	Cantabria

8868.8	40
8959.0	70
9270.0	60
9545.5	45
9691.4	20
9753.0	40
9810.0	60
10080.0	40
10120.0	20
10252.7	35
10475.7	40
10624.2	30
10674.2	Ferial de Boadilla
10694.2	35
10816.6	25
10883.0	40
11253.0	30
11351.7	Boadilla Centro
11380.0	25
11570.0	15
11612.0	20
11670.0	15
11723.0	30
11956.7	Nuevo Mundo
11976.7	40
12300.4	50
12471.0	40
12500.0	30
12550.8	Siglo XXI
12637.0	40
12838.4	20
12973.3	Infante Don Luis
12993.3	40
13300.0	15
13370.0	20
13579.3	Puerta de Boadilla
13596.0	15
13689.9	

21 Anexo 8: Esquema tranvía modelo Alstom CITADIS 302

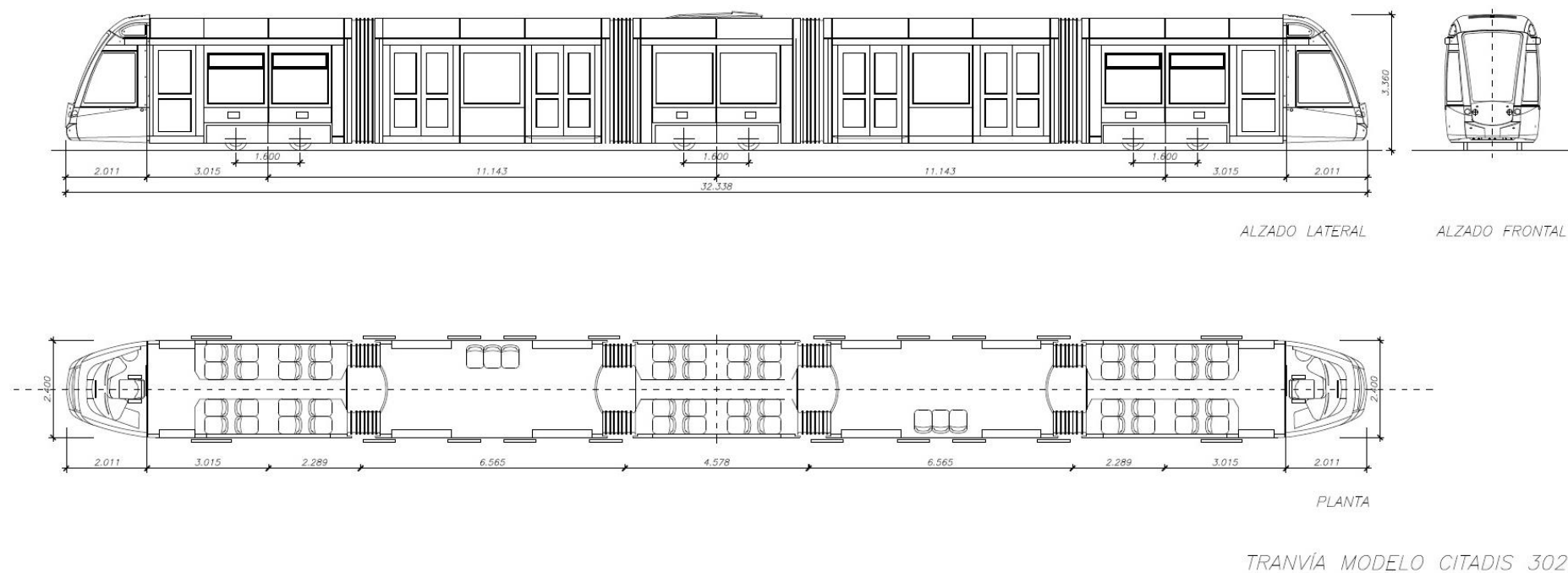


Figura 21-1: Esquema tranvía modelo Alstom CITADIS 302