



ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CIRCULACIÓN

Cálculo de distancias de frenado [ETC FR]



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

AGENCIA ESTATAL DE
SEGURIDAD FERROVIARIA

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CIRCULACIÓN

CÁLCULO DE DISTANCIAS DE FRENADO

[ETC FR]

Centro virtual de publicaciones del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana [Mitma]:
<https://apps.mitma.gob.es/CVP/>

Catálogo de publicaciones de la Administración General del Estado:
<https://cpage.mpr.gob.es>

Título de la obra: Especificación Técnica de Circulación. Cálculo de distancias de frenado [ETC FR]
]Autor: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana; Secretaría de Estado de Transportes,
Movilidad y Agenda Urbana; Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria (AESF)
Año de edición: 2021

Características edición digital:

1ª edición electrónica: enero 2022

Formato: PDF

Tamaño: 6,23 MB

Edita:

© Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

NIPO: 796-21-155-8

Aviso Legal: Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada, ni transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, salvo en aquellos casos específicamente permitidos por la Ley.

HISTORIAL DE VERSIONES

Versión	Fecha	Comentarios
1.0	15/07/2021	Primera edición del documento
2.0	16/12/2021	Correcciones en apartado 1 y en anexo I1, tren 6

Resolución 2/2021	8
0. Antecedentes y justificación de este documento	10
1. Objeto	12
2. Ámbito de aplicación	13
3. Referencias	14
4. Modos y regímenes de frenado	15
5. Distancias de frenado	16
6. Prestaciones de frenado de un tren	17
6. 1 Trenes LAMBDA.....	17
6. 1. 1 Trenes de composición variable	18
6. 1. 2 Trenes autopropulsados e indeformables de $V_{\max} \leq 200 \text{ km/h}$	20
6. 1. 3 Trenes autopropulsados e indeformables de $V_{\max} > 200 \text{ km/h}$	20
6. 1. 4 Resumen.....	20
6. 2 Trenes GAMMA.....	21
7. Factores a considerar en el cálculo de distancias de frenado	22
8. Método de cálculo de las distancias de frenado	23
9. Factores de corrección	25
9. 1 Para FdE en condiciones nominales.....	25
9. 2 Para FdE en condiciones degradadas.....	25
9. 3 Para FdS hasta la parada	26
9. 4 Para FdS en reducciones de velocidad.....	26
10. Posibles aplicaciones	27
10. 1 Cálculo de velocidades máximas de circulación	27
10. 1. 1 Conocidos los datos de la infraestructura.....	27
10. 1. 2 Conocidos los porcentajes de peso freno de la línea	27
10. 2 Diseño de infraestructura.....	28
10. 2. 1 Ubicación de señales	28
10. 2. 2 Cálculo de las distancias de deslizamiento	28
11. Ejemplo de aplicación de tablas	29
11. 1 Tablas para distintos trenes con distintos lambdas	29
11. 1. 1 Distancias de FdE en condiciones nominales	29

11. 1. 2 Distancias de FdE en condiciones degradadas	30
11. 1. 3 Distancias de FdS hasta la parada.....	30
11. 1. 4 Distancias de FdS para reducción de velocidad	30
11. 2 Tablas para un mismo tren a distintas velocidades	31
12. Glosario y acrónimos.....	32
Anexo A. Metodología de cálculo	34
A. 1 Modelo de conversión para trenes LAMBDA. Justificación	34
A. 2 Modelo de conversión para trenes LAMBDA. Tiempo de respuesta equivalente del freno	34
A. 3 Modelo de conversión para trenes LAMBDA. Deceleraciones en función del λ	36
A. 4 Factores de corrección en el modelo ETCS.....	39
A. 4. 1 Definiciones	39
A. 4. 2 Aplicación	39
A. 4. 3 Valores considerados en la presente ET.....	40
A. 5 Tiempo de reacción del maquinista.....	41
A. 6 Deceleraciones debidas a la declividad de la vía	41
A. 7 Resistencia en curva	42
A. 8 Limitaciones de las prestaciones de frenado por adherencia reducida.....	43
Anexo B. Límites de validez del modelo ETCS	44
B. 1 Limitaciones de λ en función de la Velocidad	44
B. 2 Limitaciones por deceleración mínima efectiva.....	44
Anexo C. Tablas de distancias de frenado	46
C. 1 Tabla 1. Distancias de frenado de emergencia en condiciones nominales: Trenes de tipo lambda (P,400).....	47
C. 2 Tabla 1bis. Distancias de Frenado de Emergencia en condiciones degradadas: trenes de tipo Lambda (P,400).....	51
C. 2. 1 Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P,400), con $v_0 \geq 30 \text{ km/h}$	51
C. 2. 2 Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P,400), con $v_0 \leq 30 \text{ km/h}$	55
C. 3 Tabla 2. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: trenes de tipo Lambda (P,400)	59
C. 4 Tabla 3. Distancias de frenado de servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P,400) para distintos porcentajes de peso freno	63
C. 5 Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P,400)	71
C. 6 Tabla 5. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 50\%$, circulando a distintas velocidades	78
C. 7 Tabla 6. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 65\%$, circulando a distintas velocidades	81
C. 8 Tabla 7. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 118\%$, circulando a distintas velocidades	84
C. 9 Tabla 8. Distancias de frenado de servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades.....	87
Anexo D. Caso práctico de aplicación de la tabla 3.....	91
D. 1 Consideraciones previas.....	91
D. 2 Ejemplo de aplicación.....	92
D. 2. 1 Hipótesis de partida.....	92
D. 2. 2 Posibles escenarios de actuación.....	93

Anexo E. Comparación entre distintas metodologías de cálculo del porcentaje de peso freno (λ)	99
E. 1 Fichas UIC 544-1 ediciones 4, 5 y 6 y UNE-EN 16834.....	99
E. 2 Porcentaje de peso freno según Ficha UIC 544-1 edición 6 ($\lambda_{ed.6}$).....	99
E. 3 Porcentaje de peso freno según Ficha UIC 544-1 edición 3 ($\lambda_{ed.3}$).....	100
E. 3. 1 Vehículos de $V_{max} \leq 120 \text{ km/h}$	100
E. 3. 2 Vehículos de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$	101
E. 4 Método de estimación de $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed.6}$ a partir de $\lambda_{ed.3}$	102
E. 4. 1 Trenes de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$	102
E. 4. 2 Locomotoras aisladas con $V_{max} > 120 \text{ km/h}$	105
E. 4. 3 Tabla de estimación de $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed.6}$ y λ_v a partir de $\lambda_{ed.3}$	106
E. 4. 4 Ejemplos de estimación de $\lambda_{ed.6}$ y λ_v mediante la aplicación de la tabla	111
E. 5 Conclusión en cuanto al uso del parámetro λ	113
E. 6 Obtención del “lambda estimado” de un tren GAMMA	113
E. 6. 1 Ejemplo 1	114
E. 6. 2 Ejemplo 2	115
Anexo F. Capacidad de frenado de trenes de mercancías en régimen G	116
F. 1 Régimen de frenado G	116
F. 2 Equivalencia entre porcentajes de peso freno circulando en G y P	117
F. 3 Ejemplos de aplicación práctica.....	118
F. 3. 1 Ejemplo 1	118
F. 3. 2 Ejemplo 2	118
F. 3. 3 Ejemplo 3	119
F. 3. 4 Ejemplo 4	119
F. 3. 5 Ejemplo 5	119
F. 3. 6 Ejemplo 6	120
F. 3. 7 Ejemplo 7	120
Anexo G. Ejemplos de cálculos de distancias de frenado	121
G. 1 Distancia de FdE en condiciones nominales.....	121
G. 2 Distancia de FdE en condiciones degradadas.....	122
G. 3 Distancia de FdS hasta parada	123
G. 4 Distancia de FdS para reducción de velocidad.....	125
Anexo H. Comparación de esta ET con NTC 020.95 Y ETI de material rodante (2002/2008)	128
H. 1 Ajuste del modelo utilizado en esta ET.....	128
H. 2 Comparación de distancias de frenado desde velocidades máximas $\leq 160 \text{ km/h}$	128
H. 3 Comparación de distancias de frenado desde velocidades $> 160 \text{ km/h}$	131
H. 4 Freno de servicio en ETIs de material rodante de 2002 y 2008.....	133
H. 5 Comparación de distancias de FdS entre la ET y la ETI MR 2008.....	135
H. 6 Distancias de frenado obtenidas con normativas anteriores a esta ET	135
Anexo I. Aplicación del factor kappa	136
I.1 Ejemplo de utilización del factor Kappa	136
Anexo J. Aproximación al comportamiento térmico del freno (informativo)	138
J. 1 Requisitos normativos.....	138
J. 1. 1 ETI de material rodante.....	138
J. 1. 2 Normativa nacional	138
J. 2 Metodología de cálculo	139
J. 3 Ejemplos de estimación del factor N	141
J. 4 Ejemplos de cálculo de pendientes máximas.....	143
J. 5 Aplicación al cálculo de la velocidad máxima de circulación por una pendiente determinada.....	147

Anexo K. Flujogramas	151
K. 1 Esquema director.....	151
K. 2 Estimación de $\lambda_{\text{une-en 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$ a partir de $\lambda_{\text{ed.3}}$	152
K. 3 Corrección de λ por longitud y régimen de frenado. Obtención tren equivalente (P400)	153
K. 4 Tren Lambda. Modelo ETCS conversión λ en deceleraciones	154
K. 5 Tren Gamma. Cálculos de λ estimado y deceleraciones	155
K. 6 Cálculo de distancias de frenado.....	156
K. 7 Validez de distancias de frenado por criterios térmicos y de deceleración efectiva.....	157
K. 8 Velocidad máxima de circulación cuando el λ disponible es inferior al requerido por el AI	158

RESOLUCIÓN 2/2021, DE LA AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD FERROVIARIA, POR LA QUE SE APRUEBA LA «ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CIRCULACIÓN. CÁLCULO DE DISTANCIAS DE FRE-NADO [ETC FR]»

El Reglamento de Circulación Ferroviaria, aprobado mediante el Real Decreto 664/2015, de 17 de julio, tuvo como objetivo principal adoptar una normativa única en materia de regulación de la circulación ferroviaria sobre la Red Ferroviaria de Interés General en condiciones de seguridad.

Entre otros muchos aspectos, el Reglamento de Circulación Ferroviaria (en adelante, RCF) establece en su Libro Primero, Capítulo 2, la clasificación y definición de los diferentes documentos reglamentarios que pueden elaborar los distintos actores del sector ferroviario, en desarrollo y complemento del propio reglamento (en particular, por la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, los administradores de infraestructura y las empresas ferroviarias).

Dentro de esta clasificación y jerarquía de documentos reglamentarios, se establece que la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria tiene competencia para elaborar Especificaciones Técnicas de Circulación (en adelante ETC), con las cuales pueden establecerse requisitos y condiciones generales que, en materia de seguridad, debe cumplir la infraestructura, el material rodante, y la operación, para permitir una explotación en condiciones seguras, en materias no expresamente reguladas en las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad o en otras normas europeas.

En los últimos años, con el aumento progresivo de las velocidades de circulación, se ha ido produciendo una evolución normativa en relación con el tratamiento de las distancias de frenado de los trenes y el posicionamiento de las señales, que no siempre había sido recogido completamente en las instrucciones sobre frenado en aplicación en el sector ferroviario nacional.

De acuerdo con lo anterior, la AESF considera necesario publicar una ETC, que establezca una metodología de cálculo de las distancias de frenado teóricas de los trenes en función de su tipo, velocidad, prestaciones de frenado y declividad de la vía, mejor alineada con la normativa internacional vigente en este momento y unificada, sin depender del ancho de vía (ibérico, estándar o métrico). Además, es conveniente realizar una aproximación metodológica con las normas internacionales vigentes y que han sido ampliamente aceptadas a nivel global, en particular, con la ficha UIC 544-1 y norma UNE-EN 16834.

En este sentido, esta ETC complementa y desarrolla lo previsto en el Reglamento de Circulación Ferroviaria, con el objetivo de establecer la necesaria coherencia, en lo que al cálculo de las distancias de frenado se refiere, entre la infraestructura y el material rodante, garantizando con ello una explotación segura.

La aplicación de esta nueva metodología puede suponer diferencias respecto a las distancias de frenado disponibles tradicionalmente en las distintas redes de la Red Ferroviaria de Interés General y que se han considerado aceptables, en relación a los estándares de seguridad que se han venido aplicando a lo largo de los años. No obstante, la evolución de dichos estándares, acordes con la normativa internacional, así como la deseable unificación de criterios en las distintas redes nacionales, aconsejan extender la aplicación progresiva de esta especificación a todas las infraestructuras existentes y a los procedimientos de las empresas ferroviarias. Por ello, se establece un régimen progresivo de aplicación y la necesidad de que los agentes del sector implicados desarrollen planes de migración al contenido de esta ETC.

Durante la tramitación de esta ETC, se ha dado audiencia a los administradores de infraestructuras ferroviarias, empresas ferroviarias y otras entidades del sector, conforme lo dispuesto en el artículo 65.2 de la Ley 38/2015, de 29 de septiembre, del sector ferroviario.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, **RESUELVE:**

Primero. Aprobar la “Especificación Técnica de Circulación. Cálculo de distancias de frenado [ETC FR]”

Se aprueba la «Especificación Técnica de Circulación. Cálculo de distancias de frenado [ETC FR]», cuyo texto se incluye como anexo a la presente resolución.

Segundo. Publicación

Esta resolución se publicará en la web de la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria.

Tercero. Entrada en vigor

Esta resolución surtirá efectos el día siguiente al de su publicación en la web.

Cuarto. Régimen transitorio de aplicación y adaptación a la ETC

1. Esta especificación será de aplicación a todos los proyectos de instalaciones de señalización en vía que se lleven a cabo en líneas nuevas o en modificación de las existentes, salvo que su avanzado estado de desarrollo lo haga inviable.
2. En coherencia con lo anterior, los administradores de infraestructura actualizarán, con la mayor urgencia, la normativa propia afectada por esta especificación.
3. Los administradores de infraestructura, en el plazo de 4 meses desde la entrada en vigor de esta resolución, deberán llevar a cabo un análisis de posibles medidas a implantar a nivel de explotación, con el fin de adaptarla progresivamente a lo preceptuado en esta especificación.

Además, en el plazo de 12 meses desde la entrada en vigor de esta resolución, deberán elaborar un estudio de medidas a aplicar y de necesidades de actuación en las instalaciones existentes y en la documentación asociada a las mismas, para adecuarlas, en lo posible, a los criterios de esta especificación. Dicho estudio incluirá un plan de actuación con los criterios para la priorización de las actuaciones que resulten necesarias y un programa con los plazos para acometerlas.

4. Las empresas ferroviarias, en el plazo de 12 meses desde la entrada en vigor de esta resolución, deberán actualizar en sus documentos y bases de datos, los porcentajes de frenado de sus vehículos de velocidad superior a 120 km/h conforme a la norma UNE-EN 16834, con el fin de aplicar dichos porcentajes de forma generalizada a partir de dicha fecha.

Madrid, septiembre de 2021

EL DIRECTOR DE LA AGENCIA ESTATAL DE SEGURIDAD FERROVIARIA

FIRMADO EN EL ORIGINAL CON FECHA 7/9/2021

Pedro M. Lekuona García

ANEXO: Especificación Técnica de Circulación. Cálculo de distancias de frenado [ETC FR].
Versión 1.0 | 15/7/2021

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE ESTE DOCUMENTO

A lo largo de las últimas décadas se han llevado a cabo sucesivos incrementos de la velocidad máxima de circulación en las líneas de la red ferroviaria española.

A partir de 1950 se consolida la circulación a 120 *km/h* con ciertos trenes (locomotora de vapor Confederación, Talgo II y TAF) y en tramos donde las condiciones del trazado, la vía y las distancias de frenado lo permitían. Posteriormente, el 20 de agosto de 1964 se inicia la explotación a 140 *km/h* con la puesta en servicio del Talgo III.

Durante estos procesos de aumento de la velocidad, las distancias de frenado se mantuvieron sin cambios. Ello fue posible gracias al incremento del porcentaje de frenado (λ) requerido del 90 % al 120 %. Esta forma de proceder fue consecuencia de que las distancias existentes entre señales avanzadas y de entrada eran muy reducidas, debido mayoritariamente a la limitación de la transmisión alámbrica de dichas señales.

El 1 de junio de 1986 se inicia la explotación comercial a 160 *km/h*. Para ello, fue necesario replantear y aumentar la distancia entre las señales, manteniendo el λ en el 120 %. En consecuencia, se pasó de una distancia nominal entre señales de 1000 *m* (para 140 *km/h*) a 1500 *m* (para 160 *km/h*), y se dejó abierto el camino al uso del doble cantonamiento para circular a 200 *km/h*.

Entre 1992 y 1999 la normativa vigente (Reglamento General de Circulación) se abrió al uso de trenes de 500 *m* de longitud, frente al criterio anterior que estaba referido al número de ejes.

En 1995 RENFE (Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles) publicó la norma NTC 020.95 como recopilación de distintos documentos vigentes hasta entonces y al amparo de la normativa internacional de referencia en esa fecha: Ficha UIC 544-1, edición 3, de enero 1966; reimpresa en marzo de 1979 con 9 modificaciones. En esa época, exceptuando la línea AVE Madrid-Sevilla, la velocidad máxima en la Red era de 160 *km/h*, por lo que la norma solo contempló hasta dicha velocidad máxima. Además, en la red convencional, las declividades no superaban el 15 ‰ en los tramos de velocidad máxima 160 *km/h*, mientras que las situadas en torno al 20 ‰ estaban asociadas a velocidades máximas entre 80 y 100 *km/h*.

Para el aumento de velocidad a 200 *km/h* en las líneas Madrid-Valencia y Valencia-Barcelona, fue suficiente con considerar dos tramos de frenado en el cantonamiento existente; siendo el tramo de 200 a 160 *km/h* de menores exigencias que el de 160 *km/h* hasta la parada. No obstante, se aumentaron las prestaciones de frenado de los trenes en dichas líneas, consiguiendo unas condiciones de mayor seguridad que las de los trenes de velocidad máxima 160 *km/h*. Todo ello se recogió en la norma NTC 021 de junio de 1997.

En octubre de 2004 se publicó la 4ª edición de la ficha UIC 544-1, que incorporaba un notable cambio en el procedimiento de caracterización de las prestaciones de frenado del material rodante. Casi simultáneamente se produjo la desaparición de RENFE, como tal, y su división en ADIF y RENFE Operadora. Esto generó la necesidad de modificar progresivamente la normativa vigente.

En junio de 2013 se publicó la 5ª edición de la ficha UIC, que, además de la tradicional caracterización de los vehículos en cuanto a sus prestaciones, incorporó el modelo de frenado ERTMS/ETCS y revisó el comportamiento de los trenes en función de su longitud, incorporando las conclusiones del RP 35 de la cuestión ERRI B 126. Finalmente, en octubre de 2014 se publicó la 6ª edición de la ficha UIC.

En abril de 2019 se publica la norma europea EN 16834 (adoptada como UNE-EN 16834 en enero de 2020), que incorpora el contenido de la 6ª edición de la ficha UIC. En esencia, describe los mismos procedimientos de la ficha UIC, aunque realiza una profunda revisión de esta en cuanto a su estructura y extensión, completando la información en ciertos aspectos de detalle.

Adicionalmente, en los últimos años, se han publicado numerosas Directivas y Reglamentos de la Unión Europea que afectan al material rodante, la infraestructura y la operación ferroviaria.

A su vez, desde el año 1995 el parque de material rodante ha ido renovándose y mejorando su diseño y mantenimiento.

Por otro lado, de la única línea de Alta Velocidad existente en 1995 se ha pasado a una red de Alta Velocidad (AV) y, además, la red de Ancho Métrico (AM), con una normativa específica, ha pasado a incorporarse a la Red Ferroviaria de Interés General (RFIG). Esto ha dado lugar a la publicación de un reglamento de circulación (Reglamento de Circulación Ferroviaria [Ref. 04]) común para las tres redes: Convencional, AV y AM.

De todo lo anterior se desprende que la presente Especificación Técnica (ET) ha de ser acorde con este nuevo marco normativo e institucional, debe contemplar el tratamiento de las distancias de frenado de los trenes, y dejar el posicionamiento concreto de las señales al Administrador de la Infraestructura (AI). Este, dentro del marco de esta ET, podrá incorporar en sus normas de señalización criterios adicionales para la disposición de las señales (técnicos, de visibilidad, ergonomía de la conducción, confort del pasaje etc.), con el fin de que la percepción de estas por parte del maquinista sea clara y sin ambigüedades y pueda interpretar su mensaje correctamente.

Por ello, esta ET:

1. Está totalmente alineada con la normativa internacional.
2. Establece una metodología de cálculo de las distancias de frenado de los trenes independiente del ancho de vía (ibérico, estándar o métrico).
3. Contiene un modelo de cálculo, con unos factores de ajuste, que permite predecir unas distancias de frenado:
 - a. Coherentes con la realidad física y que, aunque en el futuro pudiera perfeccionarse como consecuencia de la evolución de la normativa internacional y de los avances técnicos, es suficientemente seguro.
 - b. Alineadas con lo aplicado en otras redes europeas.
 - c. Acordes con las obtenidas aplicando la normativa precedente (NTC 020.95).

El objeto de esta Especificación Técnica (ET) es establecer una metodología de cálculo de las **Distancias de Frenado** teóricas de los trenes en función de su tipo, velocidad, prestaciones de frenado y declividad de la vía.

Su redacción se realiza en cumplimiento de lo dispuesto en el art. 1.2.1.2 del Reglamento de Circulación Ferroviaria (RCF), aprobado por Real Decreto 664/2015, de 17 de julio, con el objetivo de establecer la necesaria coherencia, en lo que al cálculo de las distancias de frenado se refiere, entre la infraestructura y el material rodante, garantizando con ello una explotación segura.

Se consideran dos tipos de Distancias de Frenado en función de la velocidad objetivo (v_{fin}):

- a. Hasta parada.
- b. Para reducir parcialmente la velocidad.

Esta ET será utilizada para realizar cálculos relacionados con las distancias de frenado de los trenes o definir limitaciones o restricciones derivadas de estas. En particular, y sin carácter exhaustivo ni excluyente, servirá de base para que:

1. Los Administradores de Infraestructuras (AI) elaboren normas para el proyecto de los sistemas de señalización en vía de nuevas líneas o modificación de las existentes.
2. Las EF o los AI, en su caso, a partir de la distancia entre señales, puedan definir las prestaciones de frenado mínimas para que un tren pueda circular por una línea o tramo de línea a la máxima velocidad permitida en ella (V_{infr}).
3. Las Empresas Ferroviarias (EF) puedan fijar la velocidad máxima de circulación (V_c) de un tren por una línea o tramo de línea, a partir de sus distancias de frenado de servicio (tal y como se definen en este documento), cuando este no alcance las prestaciones de frenado mínimas para circular a la máxima velocidad permitida en ella (V_{infr}). O bien, para que las EF y las Entidades Encargadas de Mantenimiento (EEM) puedan definir restricciones de uso de los vehículos.

La metodología de cálculo incluye factores correctores que garantizan un margen de seguridad suficiente dentro del ámbito de aplicación de esta ET. Por el contrario, no se tienen en cuenta en esta ET los alargamientos excesivos de la frenada debidos a efectos térmicos de los distintos tipos de elementos de fricción del freno.

Como aplicación práctica y a modo de ejemplo, en el anexo C de esta ET se han incluido tablas con las Distancias de Frenado correspondientes a un tren tipo, con unas prestaciones de frenado de referencia y circulando en sus rangos de velocidades correspondientes.

El ámbito de aplicación de esta ET es el definido por las tres condiciones siguientes:

- Red Ferroviaria de Interés General (RFIG).
- Velocidades de inicio del frenado entre 10 y 200 *km/h*.
- Declividades de la vía de hasta 35%.

Para velocidades y declividades fuera de los rangos citados (tramo Ripoll-Frontera Francesa, línea Cercedilla - Los Cotos, etc.), la relación entre las distancias de frenado y las prestaciones de frenado, serán objeto de un estudio técnico específico.

- [Ref. 01]** Ficha UIC 544-1 “Brakes – Braking performance”: 6ª edición. Octubre 2014.
- [Ref. 02]** Ficha UIC 541-05 “Brakes – Manufacturing specifications for various brake parts – Wheel Slide Protection device (WSP)”: 3ª edición. Marzo 2016.
- [Ref. 03]** Especificación Técnica de Interoperabilidad del Subsistema “Material Rodante. Locomotoras y Material Rodante de Viajeros”: Reglamento UE nº 1302/2014 de la Comisión de 18/11/14.
- [Ref. 04]** Reglamento de Circulación Ferroviaria. Real Decreto 664/2015 de 17/07/15, incluyendo el Real Decreto 1011/2017 de 01/12/17, por el que se modifica el anterior.
- [Ref. 05]** Norma Técnica de Circulación de RENFE NTC 020.95 “Distancias de frenado y Señales”: Edición 2. Noviembre 1995.
- [Ref. 06]** “System Requirements Specification” del sistema ERTMS/ETCS, Subset 026-3. Versión 3.4.0. 12/05/14.
- [Ref. 07]** “System Requirements Specification” del sistema ERTMS/ETCS, Subset 026-7. Versión 3.4.0. 12/05/14.
- [Ref. 08]** Norma UNE-EN 14531-1 “Aplicaciones Ferroviarias. Métodos para el cálculo de las distancias de frenado de parada y desaceleración e inmovilización. Parte 1: Algoritmos generales que utilizan el cálculo del valor medio de composiciones de trenes o vehículos aislados”: Noviembre de 2016.
- [Ref. 09]** Documento de la UIC: “Braking Questions. Calculation model for the conversion of the λ value into a speed-dependent function of deceleration”: UIC B126/RP 35. Agosto 2009.
- [Ref. 10]** Norma UNE-EN 14198 “Aplicaciones Ferroviarias. Frenado. Requisitos para el sistema de frenado de trenes remolcados por locomotoras”: Febrero 2018.
- [Ref. 11]** Norma UNE-EN 16834 “Aplicaciones ferroviarias. Frenado. Prestaciones del freno”: Enero de 2020.
- [Ref. 12]** ET 03.365.008.6 Especificación Técnica ASFA DIGITAL EMBARCADO. ADIF. Revisión 04/01/2020.
- [Ref. 13]** Especificación Técnica de Interoperabilidad del Subsistema “Material Rodante” del subsistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Decisión CE nº 735/2002 de la Comisión de 30/05/2002.
- [Ref. 14]** Especificación Técnica de Interoperabilidad del Subsistema “Material Rodante” del subsistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad. Decisión CE nº 232/2008 de la Comisión de 21/02/2008.
- [Ref. 15]** Especificación Técnica de Interoperabilidad del Subsistema de infraestructura del sistema ferroviario transeuropeo de alta velocidad Decisión CE nº 217/2008 de la Comisión de 20/12/2007.

MODOS Y REGÍMENES DE FRENADO

En la presente ET se distinguen dos modos de frenado de los trenes, en función del nivel de seguridad en su respuesta:

1. **Frenado de emergencia** [FdE]: Modo de control del freno del que disponen todos los trenes. Su aplicación garantiza la detención del tren. Se considera el de mayor nivel de seguridad. No es regulable en su aplicación.
2. **Frenado de servicio** [FdS]: Modo de control del freno que permite regular la velocidad del tren, reduciéndola hasta la parada o hasta una velocidad intermedia, o manteniéndola constante en pendientes pronunciadas. No puede ser considerado como freno de seguridad del tren. Puede compartir o no parte de sus elementos con el FdE. Es regulable en su aplicación.

En cada modo, pueden aplicarse dos regímenes de frenado diferentes (P y G), en función del tiempo de respuesta necesario para aplicar todo el esfuerzo de frenado y de la magnitud de este. A los efectos de esta ET, y conforme a la nota 3 del apartado F4.1 de la [Ref. 11], dentro del régimen P se consideran incluidas las posiciones P, P+E, R, R+E y R+Mg.

En la presente ET se consideran dos tipos de distancias de frenado, en función de la velocidad objetivo (v_{fin}):

1. Hasta la parada del tren. En función del modo de frenado utilizado y de las condiciones de éste en el momento de su aplicación, se distinguen a su vez tres subtipos:

a. Distancia de FdE en condiciones nominales: Es la que necesita un tren, con unas prestaciones de frenado determinadas, para detenerse tras activar el FdE, en las condiciones definidas en el apartado 6.4 de la [Ref. 11]

b. Distancia de FdE en condiciones degradadas: Es la que necesita un tren, con unas prestaciones de frenado determinadas, para detenerse tras activar el FdE, funcionando este en condiciones reales, menos favorables que las nominales, por efecto de: disimilitud en la construcción y/o mantenimiento de los equipos de freno, inexactitud en la medición de la velocidad, fallo de algún elemento del sistema al realizar el frenado, factores ambientales, etc.

c. Distancia de FdS: Es la que necesita un tren con unas prestaciones de frenado determinadas, para detenerse utilizando el FdS, en condiciones normales de funcionamiento. La normativa aplicable hasta la publicación de la [Ref. 03] no exigía la evaluación de prestaciones con este modo de frenado (salvo para material rodante de Alta Velocidad), y estas no pueden ser obtenidas de manera directa a partir de las prestaciones de FdE. Por tanto, a efectos de esta ET, esta distancia se calcula añadiendo a la distancia de FdE en condiciones degradadas, la distancia recorrida a velocidad constante por el tren, durante un tiempo de reacción ($t_{response}$) empleado por el maquinista para la activación del freno.

2. Para reducción de la velocidad del tren desde una velocidad inicial hasta una intermedia. En este caso, solo resulta de aplicación la:

d. Distancia de FdS: Es la que necesita un tren, con unas prestaciones de frenado determinadas, para reducir la velocidad desde una determinada velocidad inicial (v_0) hasta otra velocidad intermedia (v_{fin}) utilizando el FdS, en condiciones normales de funcionamiento. Como se ha indicado, a efectos de esta ET, se calcula añadiendo a la distancia de FdE en condiciones degradadas, la distancia recorrida a velocidad constante por el tren, durante un tiempo de reacción ($t_{response}$) empleado por el maquinista para la activación del freno.

PRESTACIONES DE FRENADO DE UN TREN

En función de cómo se expresen sus prestaciones de frenado, y conforme a la [Ref. 06], los trenes pueden clasificarse en dos categorías:

1. **Trenes LAMBDA:** Cuando se expresan mediante un porcentaje de peso freno (λ), que es función de su régimen de frenado (P o G) y de su longitud.
2. **Trenes GAMMA:** Cuando se expresan exclusivamente mediante las deceleraciones (a_e) y tiempos de respuesta equivalente (t_e) del FdE.

Esta clasificación, al basarse únicamente en la forma de expresar las prestaciones de frenado del tren, no guarda una relación unívoca con el tipo y características de su composición.

No obstante, para el cálculo de sus distancias de frenado, los trenes de composición variable se tratan, en general, como trenes Lambda.

Por el contrario, los trenes autopropulsados y otras composiciones indeformables pueden tratarse indistintamente como trenes Lambda o Gamma, en función de la información disponible, y la finalidad perseguida.

El procedimiento de cálculo de las distancias de FdE de un tren será diferente dependiendo de la categoría a la que se adscriba, tal como se expone en el apartado 7 de esta ET.

6.1 TRENES LAMBDA

Las prestaciones de frenado de estos trenes se expresan mediante un porcentaje de peso freno (λ), definido conforme a la [Ref. 11], y que varía en función del régimen de frenado (P o G) y de la longitud de la composición. Cuando dicho λ sea obtenido mediante ensayos, es posible obtener también, como parte del proceso, los porcentajes de peso freno (λ_v) asociados a cada velocidad concreta a la que se realicen ensayos.

Nota: La norma europea EN 16834 [Ref. 11], publicada con posterioridad a la [Ref. 01], mantiene un criterio continuista con esta, en lo referente a metodología y aspectos esenciales a considerar en la determinación del λ . En esta ET las citas a la [Ref. 01] se han utilizado en referencia explícita a contenidos no recogidos en la [Ref. 11].

Dentro de este grupo pueden incluirse los siguientes tipos de trenes:

1. Trenes de composición variable.
2. Trenes autopropulsados y otros trenes indeformables con velocidad máxima nominal (V_{max}) igual o inferior a 200 km/h. Según el apartado 6.1 de la [Ref. 01], las prestaciones de frenado de estos trenes pueden ser expresadas también mediante deceleraciones y tiempos de respuesta equivalente del freno.
3. Trenes autopropulsados y otros trenes indeformables con $V_{max} > 200$ km/h, cuando circulen sin superar este umbral.

6.1.1 TRENES DE COMPOSICIÓN VARIABLE

Las prestaciones de frenado de los trenes de composición variable siempre se definen mediante un λ , que es función del esfuerzo y del régimen de frenado, y de la masa y longitud del tren. Es decir:

$$\lambda = \frac{\sum B_i}{\sum M_i} \cdot 100 \cdot \kappa$$

siendo:

B_i : pesos freno de los vehículos del tren, para el régimen de frenado considerado (P o G). Representan el esfuerzo medio de frenado de cada uno.

M_i : masas totales de los vehículos.

κ : factor de corrección "kappa", función de la longitud de la composición remolcada del tren.

El peso freno de cada vehículo (B_i), para cada régimen de frenado, se determina mediante el procedimiento aplicable (cálculo, ensayo o mixto) de la [Ref.11] equivalente al de la [Ref. 01]. Cuando el λ de alguno de los vehículos esté definido conforme a una edición anterior a la [Ref. 01], para el cálculo de las distancias de frenado, la EF deberá obtener previamente su equivalente con el de esta última (anexo E de esta ET).

El factor kappa (κ) es un coeficiente que reduce las prestaciones de frenado cuando la longitud de la composición remolcada supera un cierto umbral. Al aplicar este factor se consigue que un tren con un determinado λ y de longitud superior al umbral, sea equivalente a efectos de distancias de frenado a un tren con la longitud del umbral y porcentaje de peso freno de valor $\kappa \cdot \lambda$, es decir:

$$Dist. \text{ frenado tren } (\lambda, L > L_{\text{umbral}}) \equiv Dist. \text{ frenado tren } (\kappa \cdot \lambda, L_{\text{umbral}})$$

El umbral varía en función del tipo de composición (viajeros o mercancías) y de su régimen de frenado (P o G). Así, según el apartado 6.1.2 de la [Ref. 11], en los ensayos de obtención de λ en régimen P se utilizan composiciones formadas por una locomotora aislada remolcando:

- En trenes de viajeros: un conjunto de coches idénticos de longitud 400 m.
- En trenes de mercancías: un conjunto de vagones idénticos de longitud 500 m.

En ambos casos las distancias de frenado obtenidas en los ensayos se trasladan a las tablas o fórmulas del anexo A.1 de la [Ref. 11] de las que se obtiene el λ .

De lo anterior se deduce que en régimen P, y a igualdad de su λ , las distancias de frenado de un tren de viajeros de longitud remolcada 400 m son equivalentes a las de uno de mercancías de 500 m. Ambas longitudes son los umbrales a partir de los cuales los trenes más largos han de asimilarse a estos mediante la aplicación del factor κ .

$$Dist. \text{ frenado tren } (\text{Viajeros}, P, \lambda, L=400m) \equiv Dist. \text{ frenado tren } (\text{Mercancías}, P, \lambda, L=500m)$$

En régimen G, los trenes aumentan sus distancias de frenado debido al mayor tiempo de llenado de los cilindros de freno (ver anexo F). Así, un tren que tenga un determinado λ en régimen P (λ_P), al circular en régimen G (λ_G), aumenta sus distancias de frenado:

$$Dist. \text{ frenado tren } (P, \lambda_P, L) < Dist. \text{ frenado tren } (G, \lambda_G, L)$$



En consecuencia, y a efectos del cálculo de las distancias de frenado, dicho tren en régimen G podría asimilarse a un tren equivalente que circulara en régimen P, pero con su λ_G reducido en una cantidad $\Delta\lambda$, que tuviera en cuenta dicho incremento de distancias de frenado:

$$\text{Dist. frenado tren } (G, \lambda_G, L) \equiv \text{Dist. frenado tren equivalente } (P, \lambda_{P \text{ equivalente}} = \lambda_G - \Delta\lambda, L)$$



Por tanto, conociendo las distancias de frenado en régimen G de un tren (λ_G), podrá calcularse el λ de otro tren equivalente en régimen P (más pequeño, es decir, $\lambda_{P \text{ equivalente}} < \lambda_G$) que tuviera las mismas distancias de frenado. Restando ambos λ , se obtendría el valor de $\Delta\lambda = \lambda_G - \lambda_{P \text{ equivalente}}$, necesario para igualar distancias de frenado en ambos regímenes (ver apartado F.2), es decir, $\lambda_{P \text{ equivalente}} = \lambda_G - \Delta\lambda$.

Así, para calcular el $\lambda_{P \text{ equivalente}}$, habría que calcular primero el λ_G del tren en régimen G, a partir de los valores de B_i (en régimen G) y M_i de cada vehículo, aplicarle el correspondiente factor kappa (κ) y restarle el $\Delta\lambda$.

Para el cálculo de $\Delta\lambda$ se ha utilizado el Apéndice L de la [Ref. 01], que contiene gráficas de distancias de frenado para trenes en régimen G válidas para longitudes remolcadas entre 500 y 700 m. De aquí se deduce que 700 m es la longitud umbral a partir de la cual se reducen las prestaciones de frenado a través del factor κ .

Así pues, en el caso hipotético de tres trenes: uno de viajeros (en régimen P), otro de mercancías (en régimen P) y un tercero de mercancías (en régimen G), a los que después de aplicarles el factor κ y el correspondiente $\Delta\lambda$ (en el caso del régimen G), el λ resultante fuera el mismo, las distancias de frenado de los tres serían idénticas.

Como resumen de todo lo anterior se deduce la equivalencia de los siguientes trenes a efectos de sus distancias de frenado:

$$\{\text{Viajeros, P, } \lambda, L=400\text{m}\} \equiv \{\text{Mercancías, P, } \lambda, L=500\text{m}\} \equiv \{\text{Mercancías, G, } (\lambda+\Delta\lambda), L=[500\text{m}, 700\text{m}]\}$$

En consecuencia, la aplicación de los factores κ y $\Delta\lambda$ (en el caso del régimen G) a cualquier tren de composición variable, independientemente de su longitud y régimen de frenado, permite obtener el λ de un tren equivalente circulando en régimen P de 400 m de longitud. De esta manera, para el cálculo de las distancias de frenado de esta ET, se utilizará siempre el tiempo de respuesta equivalente del freno correspondiente a ese tren.

El factor kappa (κ) a aplicar en cada caso será:

RÉGIMEN DE FRENADO	USO	$L_{\text{remolcada}}$	Kappa
P	Viajeros	$\leq 400 \text{ m}$	1
		$> 400 \text{ m}$	Definido en el apartado 9.3.1 de la [Ref. 11]
	Mercancías	$\leq 500 \text{ m}$	1
		$> 500 \text{ m}$	Definido en el apartado 9.4.1 de la [Ref. 11]
G	Mercancías	$\leq 700 \text{ m}$	1
		$> 700 \text{ m}$	Definido en el apartado 9.5.2 de la [Ref. 11]

En resumen y a efectos prácticos, antes de utilizar el modelo ETCS expuesto en esta ET para transformar λ en deceleraciones, será necesario:

- Cuando el λ de algún vehículo o del tren esté definido conforme a una edición de la ficha UIC 544-1 anterior a la [Ref. 01], obtener previamente su equivalente con el de esta última.
- Convertir el λ de los trenes Lambda de viajeros (régimen P) de longitud remolcada superior a 400 m a uno de 400 m, aplicando el factor Kappa.
- Convertir el λ de los trenes de mercancías en régimen P de longitud remolcada superior a 500 m a uno de 500 m, aplicando el factor Kappa.
- Convertir el λ de los trenes de mercancías en régimen G de longitud remolcada superior a 700 m a uno de 700 m, aplicando el factor Kappa y tras ello, restarle el $\Delta\lambda$.

Así, estos trenes serían equivalentes a efectos de distancias de frenado a un tren en régimen P de 400 m de longitud circulando con los λ obtenidos tras la conversión. Por ello, se utilizará siempre el tiempo de respuesta equivalente del freno correspondiente a este tren.

Los trenes de longitudes inferiores a las anteriores, aunque sus tiempos de respuesta equivalente del freno sean, en general, menores, se asimilan a los de esas longitudes.

6.1.2 TRENES AUTOPROPULSADOS E INDEFORMABLES DE $V_{MAX} \leq 200$ KM/H

Según la tabla 2 de la [Ref. 11], las prestaciones de frenado de estos trenes pueden ser expresadas indistintamente, mediante λ y/o mediante las a_e y t_e de su FdE.

Para aquellos trenes en los que solo se conozca a_e y t_e , es necesario obtener un "λ estimado" para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones degradadas y de FdS (ver apartado 6.2).

6.1.3 TRENES AUTOPROPULSADOS E INDEFORMABLES DE $V_{MAX} > 200$ KM/H

Según lo indicado en el apartado 5.3 de la [Ref. 11], las prestaciones de frenado de estos trenes siempre vendrán expresadas mediante las a_e y t_e del FdE.

No obstante, cuando estos trenes circulen a $V_c \leq 200$ km/h, será necesario expresar sus prestaciones de frenado mediante un λ obtenido a través del procedimiento basado en ensayos de la [Ref. 11].

En caso de no disponer de un valor de λ obtenido mediante ensayos, será necesario calcular un "λ estimado" (ver apartado 6.2) de forma análoga a la de los trenes autopropulsados y otros trenes indeformables de $V_{max} \leq 200$ km/h. Este valor será utilizado únicamente para calcular distancias de FdE en condiciones degradadas y de FdS desde velocidades iniciales $v_0 \leq 200$ km/h.

6.1.4 RESUMEN

Las características que definen a un tren Lambda son las siguientes:

- Prestaciones de frenado expresadas mediante un λ obtenido conforme a la [Ref. 11].
- $V_{max} \leq 200$ km/h. O bien, $V_{max} > 200$ km/h, pero solo para calcular distancias de frenado desde velocidades iniciales $v_0 \leq 200$ km/h.
- Tráfico de viajeros o mercancías.
- En régimen de frenado P o G.
- De cualquier longitud.

En los trenes de composición variable, para el cálculo de las distancias de frenado, deberá obtenerse previamente el λ correspondiente al de un tren equivalente de 400 m de longitud, circulando en régimen P.

6.2 TRENES GAMMA

Las características que definen los trenes Gamma son las siguientes:

Prestaciones de frenado definidas exclusivamente mediante perfiles de deceleración (a_e) y tiempos de respuesta equivalente (t_e) del FdE.

Ausencia de restricciones genéricas en cuanto a su V_{max} , longitud, tipo de carga o régimen de frenado. En su lugar, las deceleraciones y tiempos de respuesta equivalente de cada tren deben ir asociados a unas determinadas condiciones de validez de estos parámetros.

Cuando estos trenes circulen a $V_c \leq 200 \text{ km/h}$, para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones degradadas y de FdS será necesario calcular un “ λ estimado”, aplicando el procedimiento apropiado de la [Ref. 11] en función de las características del tren, pero utilizando, para cada velocidad, su correspondiente distancia de FdE hasta la parada calculada a partir de los datos reales de a_e y t_e . Desde ese momento, y a efectos de esta ET, el tren Gamma, con su “ λ estimado”, pasará a considerarse como tren Lambda.

FACTORES A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE DISTANCIAS DE FRENADO

Los factores que influyen en la expresión del apartado 8 para el cálculo de las distancias de frenado de un vehículo o tren son los siguientes:

1. Velocidad inicial (v_0).
2. Velocidad objetivo o final (v_{fin}). Será nula en el caso de frenado hasta parada del tren.
3. Prestaciones de frenado: Deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE.
4. Declividad de la vía (i).
5. Factores de corrección ($K_{t_{int}}$, $K_{r_{int}}$, $K_{v_{int}}$) asociados al modo de frenado utilizado (FdE en condiciones nominales, FdE en condiciones degradadas o FdS). Su aplicación a las deceleraciones y al tiempo de respuesta equivalente del freno permite obtener distintos tipos de distancias de frenado. En el apartado A.4 se recoge información sobre estos factores, su empleo, y los valores considerados en esta ET para cada modo de frenado.
6. Coeficiente de inercia de las masas rotativas (ρ).

Para los trenes Lambda circulando en régimen de frenado P, será necesario aplicar previamente el modelo de conversión definido en el anexo F de la [Ref. 11] (también conocido como “Modelo ETCS”). Este modelo proporciona una conversión del λ a deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE en condiciones nominales. Para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones nominales de los trenes Gamma esto no sería necesario, ya que estos valores son ya conocidos. Los aspectos más relevantes de este modelo de conversión se recogen en los apartados A.1, A.2 y A.3 de esta ET. En particular, se destacan las limitaciones al modelo en el caso de valores de λ muy bajos en pendientes muy elevadas, desarrolladas con mayor detalle en el anexo B de esta ET.

Para cualquier régimen de frenado (P o G) el valor de λ a emplear en el modelo ETCS deberá ser previamente corregido por el factor kappa (κ) (tal como se indica en el apartado 6.1.1 de esta ET), considerando a partir de ese momento su longitud como 400 m (independientemente de cuál sea su longitud real), a efectos de cálculo de a_e y t_e .

Adicionalmente, en los trenes en régimen de frenado G, al porcentaje de peso freno (λ_G) corregido por el factor κ , deberá restársele el valor $\Delta\lambda$ indicado en la tabla del apartado F.2 de esta ET. Así, la aplicación del modelo ETCS de conversión de λ en a_e y t_e se deberá realizar considerando que el tren tiene un $\lambda_{equivalente} = \lambda_G - \Delta\lambda$, circula en régimen P y tiene una longitud de 400 m.

Cuando sea necesario realizar un cálculo afinado de la distancia de frenado de un determinado vehículo o tren desde una velocidad inicial (v_0) concreta, como λ de entrada en el modelo de conversión, se podrá sustituir el λ del vehículo o tren según la [Ref. 11], por el λ asociado a la velocidad concreta de inicio de la frenada (λ_v), siempre que se disponga de este en la información del vehículo o tren.

En el anexo F de la presente ET, se amplía información en relación al tratamiento de los trenes en régimen G.

Como se ha indicado anteriormente, para el cálculo de distancias de FdE en condiciones degradadas y de FdS de los trenes Gamma, y una vez calculado su “ λ estimado”, se consideran trenes Lambda, por lo que tendrán el mismo tratamiento que estos.

MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS DE FRENADO

La distancia de frenado necesaria para reducir la velocidad desde un valor inicial v_0 hasta un valor final v_{fin} considerando una deceleración de frenado (a_e) constante en todo el proceso, se calculará mediante la fórmula (79) de la [Ref. 08]:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_{fin}^2}{2 \cdot a_e}$$

Donde:

- s_{grad} : distancia de frenado (m).
- v_0 : velocidad inicial (m/s).
- t_e : tiempo de respuesta equivalente del freno (s). Este parámetro equivale al t_{ror} utilizado en el modelo de conversión ETCS del apartado A.2 de esta ET.
- m_{st}/m_{dyn} ($= 1/\rho$): inverso del coeficiente de inercia de masas rotativas (-).
- g_n : aceleración de la gravedad (m/s^2).
- i : declividad de la vía (en tanto por uno). Positiva en rampas, negativa en pendientes.
- v_{fin} : velocidad objetivo o final (m/s).
- a_e : deceleración de frenado (m/s^2), añadiendo a la del tren (d_{pnr} , cuando se utilice el modelo de conversión ETCS), los efectos de la declividad (d_i) y de la resistencia al avance en curvas (ver apartados A.6 y A.7 de esta ET). Se considera con signo positivo.

Si el tren cuenta con más de un escalón de deceleración entre v_0 y v_{fin} , el tercer sumando de la fórmula se repetirá tantas veces como escalones adicionales a uno existan. Cada uno de estos últimos sumandos se particularizará para las velocidades de inicio y final de cada escalón, y se eliminará el término asociado al tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno en los sumandos que correspondan a intervalos de velocidad diferentes al de inicio del frenado. En consecuencia, la fórmula resultante será:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_j^2}{2 \cdot a_{e,j}} + \frac{v_j^2 - v_{j+1}^2}{2 \cdot a_{e,j+1}} + \dots + \frac{v_{n-1}^2 - v_n^2}{2 \cdot a_{e,n}}$$

Donde:

- $a_{e,j}$: deceleración de frenado en el escalón "j" (m/s^2), añadiendo a la del tren, los efectos de la declividad (d_i) y de la resistencia al avance en curvas.
- v_j, v_{j+1} : velocidades inicial y final en el escalón de deceleración $a_{e,j+1}$ (m/s).
- v_n : velocidad objetivo o final v_{fin} (m/s).

El término $[m_{st}/m_{dyn}]$, o inverso del coeficiente de inercia de masas rotativas ($1/\rho$), es específico de cada tren. En caso de no ser conocido, pueden emplearse los valores genéricos propuestos en el anexo F de la [Ref. 11]: (1/1,15) para frenado en rampa y (1/1,02) para frenado en pendiente. Dichos valores han sido los utilizados en el ejemplo del apartado 11 de esta ET.

En función del tipo de distancia de frenado a calcular (FdE en condiciones nominales, FdE en condiciones degradadas o FdS), las deceleraciones (a_e) y el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno a introducir en las fórmulas anteriores serán diferentes:

1. Para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones nominales, en los trenes Gamma se utilizarán directamente sus valores reales, mientras que en los Lambda se emplearán los obtenidos a través del modelo ETCS.
2. Para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones degradadas y de FdS, se utilizarán los valores de a_e y t_e correspondientes al FdE en condiciones nominales (calculados previamente), pero afectados por unos factores de corrección ($K_{t_{int}}$, $K_{r_{int}}$, $K_{v_{int}}$), cuyos valores se indican en el apartado 9 de esta ET.
3. Para el cálculo de las distancias de FdS hasta parada, se utilizarán los valores de a_e y t_e correspondientes al FdE en condiciones degradadas (calculados previamente), pero añadiendo la distancia recorrida a velocidad constante por el tren, durante un tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s.
4. Para el cálculo de las distancias de FdS en reducciones de velocidad se aplicarán los mismos criterios que para el cálculo de las distancias de FdS hasta la parada, pero teniendo en cuenta que la velocidad objetivo (v_{fin}) es mayor que cero. Además, el valor de t_e deberá ir afectado de un factor de corrección (k_{t0}), cuyo valor se indica en el apartado 9 de esta ET.

Respecto a la declividad, de acuerdo con la [Ref. 08], a las rampas (rasante ascendente en el sentido de la marcha) se les asignan valores positivos y a las pendientes (rasante descendente en el sentido de la marcha), negativos.

Como valor de la declividad en un tramo, se puede considerar, en general, un valor medio ponderado ficticio, que incluya las posibles resistencias al avance que imponen las curvas. El procedimiento de obtención de este valor en un determinado tramo se detalla en los apartados A.6 y A.7 de este documento.

La deceleración debida a la declividad anterior, incluyendo las posibles aportaciones de la resistencia en curva, se sumará algebraicamente a la de frenado del tren, siendo la resultante el valor $a_{e,j}$ a introducir en la fórmula de cálculo de las distancias de frenado.

9.1 PARA FdE EN CONDICIONES NOMINALES

Para los dos tipos de trenes considerados, Lambda y Gamma las distancias de FdE en condiciones nominales se obtienen sin aplicar ningún factor de corrección, ni a las deceleraciones (a_e), ni al tiempo de respuesta equivalente del freno (t_e).

9.2 PARA FdE EN CONDICIONES DEGRADADAS

Para los dos tipos de trenes considerados, las distancias de FdE en condiciones degradadas se obtienen aplicando a las deceleraciones y al tiempo de respuesta equivalente del FdE, los siguientes factores de corrección:

VELOCIDAD INSTANTÁNEA (km/h)	$K_{t_{int}}$	$K_{r_{int}} * K_{v_{int}}$
≤ 160	1	0,81
> 160	1	0,70

Esto significa que para los trenes que inicien frenada desde una velocidad superior a 160 km/h, las deceleraciones aplicables por encima de dicha velocidad se multiplicarán por 0,70, mientras que las que apliquen desde 160 km/h para abajo, se multiplicarán por 0,81 (ver apartado A.4).

El empleo de estos factores de corrección se considera avalado por el uso y cubre los alargamientos que pueden producirse durante la operación o por simplificaciones en el cálculo, entre otras, por las siguientes circunstancias (algunas ya recogidas en la [Ref. 05]):

1. Dispersión en la construcción de los equipos de freno.
2. Reducción de la adherencia rueda-carril.
3. Dispersiones en el mantenimiento del material rodante.
4. Efecto de los sistemas antideslizamiento.
5. Imprecisiones en la medición de la velocidad.
6. Fallo puntual de algún elemento del sistema al realizar el frenado.
7. Calentamientos limitados y compatibles con un funcionamiento normal del sistema de freno.
8. Diferencias de cálculo resultantes de considerar pendientes ponderadas frente a las reales.

9.3 PARA FdS HASTA LA PARADA

Para el cálculo de las distancias de FdS, se toman las mismas deceleraciones del FdE en condiciones degradadas, y se añade un retardo adicional debido a la reacción del maquinista. Con ello se obtienen distancias equivalentes a las de uso real en operación del FdS.

Por tanto, para los dos tipos de trenes considerados, las distancias de FdS se obtienen sumando a las distancias de FdE en condiciones degradadas, la distancia recorrida a velocidad constante por el tren, durante un tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s (ver apartado A.5).

9.4 PARA FdS EN REDUCCIONES DE VELOCIDAD

El procedimiento de cálculo de estas distancias es análogo al de las distancias de FdS hasta la parada, pero teniendo en cuenta que la velocidad objetivo (v_{fin}) es mayor que cero.

En trenes Lambda, si se aplican las deceleraciones que se obtienen del modelo de conversión del anexo F de la [Ref. 11], podrían obtenerse distancias inferiores a las reales en algunos intervalos de velocidad. Esto se debe a que el modelo realmente está ajustado para frenado hasta la parada, y no para reducción de velocidad. Para evitar este hecho, el modelo de conversión del anexo F de la [Ref. 11], indica que es necesario aplicar un nuevo factor corrector (k_{t0}) al tiempo de respuesta equivalente del freno, adicional al $K_{t_{int}}$. Su valor en el caso de régimen de frenado P (único para el que se determinan estas distancias en la presente ET) es de $k_{t0} = 1,2$. En los apartados A.2 y A.4 de esta ET se recoge información adicional relativa a este coeficiente.

NOTA: Debido a los factores de corrección utilizados por el modelo de conversión del anexo F de la [Ref. 11] para reducciones de velocidad, las distancias de reducción de velocidad calculadas resultan superiores, en ciertos casos, a las distancias de FdS hasta parada desde la misma velocidad inicial (v_0). Para resolver esta incongruencia, en esos casos, las distancias de reducción de velocidad se asimilan a la distancia de parada desde la velocidad inicial (v_0) en cuestión.

A continuación, se recoge un listado de posibles aplicaciones de la presente ET, a llevar a cabo por parte de las EF y/o los AI.

10.1 CÁLCULO DE VELOCIDADES MÁXIMAS DE CIRCULACIÓN

10.1.1 CONOCIDOS LOS DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA

Esta situación se da cuando el AI haya facilitado a las EF información por tramos, de las distancias de la señalización, velocidades máximas de circulación (contenidas en el cuadro de velocidades máximas) y declividades.

Para determinar la velocidad máxima de circulación de un tren por un tramo de línea, la EF deberá comprobar que las distancias de FdS del tren desde la velocidad a la que se pretende circular, **calculadas con la metodología de esta ET**, son inferiores a las distancias de la señalización. Cuando esto no se cumpla, deberá reducirse la velocidad en la cuantía necesaria para cumplir dicha condición.

10.1.2 CONOCIDOS LOS PORCENTAJES DE PESO FRENO DE LA LÍNEA

Esta situación se da cuando el AI haya facilitado a las EF información, para cada tramo de una línea, del λ mínimo necesario para circular a la máxima velocidad permitida en el tramo. Esto solo es de aplicación en tramos de líneas cuya velocidad máxima (V_{infr}) sea igual o inferior a 200 km/h.

En este caso, la EF deberá comprobar si el λ del tren según la [Ref. 11], para el régimen de frenado elegido, es igual o superior al valor mínimo establecido por el AI para circular por dicho tramo a la velocidad máxima del mismo (V_{infr}). En caso afirmativo, el tren podría circular a la máxima velocidad del tramo (siempre y cuando no sea superior a la V_{max} del tren). En un tren Gamma, esta comprobación se realizaría obteniendo previamente el “ λ estimado”, tal como se indica en los apartados 6 y E.6 de esta ET, y se procedería de manera análoga.

En caso de no cumplirse la condición indicada, la EF deberá realizar un análisis, cuyo alcance y precisión dependerá de la información que proporcione el AI, y del grado de complejidad del análisis que la EF esté dispuesta a acometer.

Si la EF dispone de los ensayos de evaluación de las prestaciones de frenado del vehículo o tren, y en ellos figuran los λ correspondientes a cada una de las velocidades a las que se realizaron frenadas (es decir, los valores λ_v), entonces puede comparar directamente cada valor de λ_v con el definido por el Administrador de la Infraestructura para cada velocidad.

NOTA: Para las velocidades en las que no se conozca el valor λ_v , al no exigir la [Ref. 11] la realización de ensayos a dicha velocidad, puede estimarse dicho valor como el menor de los correspondientes a las velocidades inmediatamente superior e inferior. Por ejemplo: $\lambda_{130} = \min(\lambda_{120}, \lambda_{140})$.

Para los vehículos o trenes en servicio, de los que solo se conozca su λ determinado según la ficha UIC 544-1, ed. 3, es posible obtener un “ λ estimado” equivalente al de la [Ref. 11], así como

estimaciones de los valores λ_v (ver apartados E.4 y E.5). En estos casos, la comparación con los λ mínimos fijados por el AI puede realizarse:

- Comparando el citado “ λ estimado” equivalente al de la [Ref. 11], con los λ requeridos por el AI para circular a todas las velocidades a analizar (hasta 200 *km/h*). Esta alternativa es la más conservadora.
- Comparando para cada velocidad, el λ_v estimado con el λ requerido por el AI.

El anexo D de esta ET amplía la información de este tipo de análisis y recoge una serie de casos prácticos.

10.2 DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA

10.2.1 UBICACIÓN DE SEÑALES

Las señales se disponen en la vía de forma que permitan la circulación de los trenes a ciertas velocidades, siempre que dispongan de unas prestaciones de frenado determinadas. Esta ET proporciona una metodología para el cálculo de las distancias de FdS de los trenes, a partir de las cuales el AI puede proyectar la ubicación de las señales.

10.2.2 CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS DE DESLIZAMIENTO

Además del posicionamiento de las señales, en el diseño de la infraestructura es necesario determinar las distancias de deslizamiento. Esta ET proporciona una metodología para el cálculo de las distancias de FdE en condiciones degradadas (o distancias de FdE aseguradas), de las que se derivan las distancias de deslizamiento.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE TABLAS

Para la elaboración de las tablas de distancias de frenado de los trenes recogidas en el anexo C de esta ET, se han considerado únicamente trenes tipo LAMBDA, ya que los de tipo GAMMA se asimilan a aquellos una vez obtenido su “ λ estimado”.

11.1 TABLAS PARA DISTINTOS TRENES CON DISTINTOS LAMBDA

Las tablas de los apartados C.1 a C.5 del anexo C muestran, en cada columna, las distancias de frenado que tendría **un tren Lambda de 400 m de longitud total, de viajeros o mercancías, frenando en régimen P (P, 400)**, que circulara a la velocidad y con el porcentaje de peso freno (λ) indicados en dicha columna.

Los trenes utilizados se indican en la tabla siguiente:

Velocidad (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110
λ	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%

Velocidad (km/h)	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%

Es importante señalar que algunos de estos trenes, especialmente los de λ más bajos, podrían requerir λ mayores, incluso para circular a bajas velocidades, en tramos con declividades elevadas (ver Anexo B).

Se han calculado cuatro tipos de distancias de frenado: FdE en condiciones nominales (apartado C.1), FdE en condiciones degradadas (apartado C.2), FdS hasta parada (apartados C.3 y C.4) y FdS en reducción de velocidad (apartado C.5).

11.1.1 DISTANCIAS DE FdE EN CONDICIONES NOMINALES

En primer lugar, se calcula el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE a partir de las expresiones del apartado A.2 de esta ET, considerando una longitud total del tren de 400 m en régimen P.

Para la obtención de las deceleraciones (a_e) se emplea el modelo de conversión recogido en el apartado A.3 de esta ET, considerando para cada velocidad inicial (v_0) el valor de λ indicado en el apartado 11.1 de esta ET.

Conforme a lo indicado en el apartado 9.1 de esta ET, no hay que aplicar ningún factor de corrección ni a las a_e , ni al t_e (es decir, $K_{r_int} = K_{v_int} = 1$). Finalmente se añadirán a las deceleraciones los efectos de la declividad de vía (apartado A.6) y de la resistencia en curva (apartado A.7).

Una vez obtenidos estos valores, se calcula la distancia de FdE en condiciones nominales mediante la expresión recogida en el apartado 8 de esta ET.

Los resultados de muestran en la **tabla 1 del apartado C.1** de esta ET.

11.1.2 DISTANCIAS DE FdE EN CONDICIONES DEGRADADAS

Las distancias de FdE en condiciones degradadas se obtienen de manera similar a las distancias de FdE en condiciones nominales (apartado 11.1.1 de esta ET), pero aplicando los factores de corrección sobre las deceleraciones y tiempos de respuesta equivalentes del freno indicados en el apartado 9.2 de esta ET:

Velocidad instantánea (km/h)	$K_{t,int}$	$K_{r,int} * K_{v,int}$
≤ 160	1	0,81
> 160	1	0,70

Los resultados se muestran en la **tabla 1 bis del apartado C.2.1** de esta ET.

Además, por sus posibles aplicaciones prácticas, en el apartado C.2.2 se incluye otra tabla 1bis para el caso de velocidades iniciales (v_0) entre 10 y 30 km/h, con cuatro posibles valores de λ para cada velocidad.

11.1.3 DISTANCIAS DE FdS HASTA LA PARADA

Las distancias de FdS hasta parada se obtienen sumando a las distancias de FdE en condiciones degradadas (apartado 11.1.2 de esta ET), la distancia recorrida por el tren durante un tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s, conforme a lo indicado en el apartado 9.3 de esta ET.

Los resultados de muestran en la **tabla 2 del apartado C.3** de esta ET. Estas distancias muestran que, como indica el apartado F.3 de la [Ref. 11], la aplicación del modelo en tramos con elevadas declividades y con valores de λ bajos no resulta adecuada. Para dichas declividades elevadas deberían emplearse valores de λ más altos (ver Anexo B).

Además, por sus posibles aplicaciones prácticas, en el **apartado C.4** de esta ET se incluye una **tabla 3**, ampliación de la tabla 2, en la que, para cada velocidad, además del valor de λ referencia indicado en el apartado 11.1 de esta ET, se añade un valor superior a este, y dos valores inferiores.

Estas distancias podrían emplearse por la EF para determinar la velocidad máxima de circulación (V_0) de un tren Lambda, en una determinada línea o tramo de línea en la que el AI haya facilitado información de los porcentajes de peso freno (λ) mínimos necesarios para circular a la máxima velocidad (V_{inf}) permitida, cuando dicho tren no alcance dichos porcentajes. El anexo D de esta ET muestra un ejemplo de aplicación de esta tabla 3.

11.1.4 DISTANCIAS DE FdS PARA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

Las distancias de FdS para reducción de velocidad se obtienen de manera similar a las distancias de FdS hasta la parada (apartado 11.1.3 de esta ET), pero teniendo en cuenta que la velocidad objetivo (v_{fin}) es mayor que cero. Además, conforme a lo indicado en el apartado 9.4 de esta ET, es necesario aplicar al tiempo de respuesta equivalente del freno, un factor corrector $k_{t0} = 1,2$.

Los resultados se muestran en la **tabla 4 del apartado C.5** de esta ET.

Cuando las distancias de FdS para reducción de velocidad calculadas con el modelo resulten superiores a las distancias de FdS hasta parada desde la misma velocidad inicial (v_0), se deben adoptar estas últimas.

11.2 TABLAS PARA UN MISMO TREN A DISTINTAS VELOCIDADES

Las tablas de los apartados C.6 a C.9 del anexo C muestran, respectivamente, las distancias de FdS hasta parada de cuatro **trenes Lambda de 400 m de longitud total, de viajeros o mercancías, frenando en régimen P (P, 400)**, cada uno de ellos con un porcentaje de peso freno (λ) diferente, y circulando a las distintas velocidades que le permite dicho λ .

Los λ utilizados han sido: 50% (tabla 5 del apartado C.6), 65% (tabla 6 del apartado C.7), 118% (tabla 7 del apartado C.8) y 151% (tabla 8 del apartado C.9).

Este tipo de tablas son de utilidad para que las EF puedan conocer las distancias de frenado de un tren concreto con un λ determinado, circulando a distintas velocidades y poder comparar con las distancias entre señales disponibles en una línea, cuando así se las haya facilitado el AI.

Como dato interesante conviene destacar que, conforme a lo obtenido en el apartado E.6.1 de esta ET, el tren de $\lambda = 151\%$, correspondería también a un tren Gamma cuyas prestaciones de FdE en condiciones nominales, en cuanto a deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno, fueran las siguientes:

Tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE	Deceleración media (m/s^2) medida entre el final de t_e y el momento de alcanzar la velocidad objetivo, v_{fin}	
	200 - 170 km/h	170 - 0 km/h
3 s	1,05	1,2

a_e	Perfil de deceleraciones del tren o vehículo.
AI	Administrador de la Infraestructura Ferroviaria.
AM	Ancho Métrico.
AV	Alta Velocidad.
B	Peso freno de un vehículo o tren (en t).
EF	Empresa Ferroviaria.
ET	Especificación Técnica.
ERTMS	European Railway Traffic Management System.
ETCS	European Train Control System.
FdE	Freno o frenado de Emergencia.
FdS	Freno o frenado de Servicio.
κ	Factor de corrección "Kappa" función de la longitud de la composición remolcada del tren.
K_{r_int}	Factor de corrección de la deceleración, dependiente de la longitud del tren.
K_{v_int}	Factor de corrección de la deceleración, dependiente de la velocidad.
K_{t_int}	Factor de corrección del tiempo de respuesta equivalente del freno, dependiente de la velocidad inicial (v_0).
k_{t0}	Factor de corrección del tiempo de respuesta equivalente del freno, dependiente de la velocidad objetivo (v_{fin} , v_t).
λ	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) cuando se usa de forma genérica, es decir, sin diferenciar con qué edición de ficha se ha obtenido, ni el régimen de frenado al que corresponde.
$\lambda_{ed.3}$	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) obtenido conforme a la edición 3 de la ficha UIC 544-1.
$\lambda_{ed.6}$	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) obtenido conforme a la edición 6 de la ficha UIC 544-1.
λ_G	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) en régimen de frenado G.
λ_P	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) en régimen de frenado P.
λ_v	Porcentaje de peso freno de un vehículo (o tren) obtenido a una determinada velocidad (v).
$L_{remolcada}$	Longitud de la composición remolcada de un tren.
EMU/DMU	Unidad autopropulsada eléctrica/térmica. Formación fija de tracción eléctrica/térmica que puede circular como un tren, que por definición no está destinada a ser recon-

figurada excepto en taller, y que está compuesta solo por vehículos motores o por vehículos motores y remolques. (NOTA: Las Especificaciones de Interoperabilidad solo se refieren a estas unidades como EMU/DMU si todos sus vehículos pueden transportar carga útil, denominándolas "ramas" en caso contrario. A efectos de esta ET no se considera relevante esta diferenciación, englobándose dentro de esta categoría tanto a las EMU/DMU como a las "ramas").

RCF	Reglamento de Circulación Ferroviaria.
RFIG	Red Ferroviaria de Interés General.
SRS	<i>System Requirements Specification</i> .
$t_{response}$	Tiempo de reacción empleado por el maquinista para la activación del FdE.
t_e, t_{fo}	Tiempo de respuesta equivalente del freno, según se define en el apartado 4.4.8.3 de la [Ref. 08].
UIC	Unión Internacional de Ferrocarriles.
V_c	Velocidad de circulación.
V_{infr}	Velocidad máxima de una línea o tramo de ella. Depende de las características de su infraestructura.
V_{max}	Velocidad máxima nominal de un vehículo o tren. Depende de las características de los vehículos.
v_0	Velocidad desde la que se inicia el frenado del tren.
v_{fin}, v_t	Velocidad objetivo a la que finaliza el frenado del tren. Será nula en el caso de frenado hasta parada del mismo.

A.1 MODELO DE CONVERSIÓN PARA TRENES LAMBDA. JUSTIFICACIÓN

Para determinar las distancias de frenado de un tren cuyas prestaciones de frenado se expresen mediante el porcentaje de peso freno (λ), es necesario utilizar previamente un modelo matemático que convierta este parámetro en deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE.

En la presente ET se utiliza el modelo ETCS definido en el anexo F de la [Ref. 11]. Todas las referencias de las fórmulas que se recogen en este apartado se refieren a dicho anexo.

Según la [Ref. 11], el modelo es aplicable con las siguientes restricciones:

1. Trenes de pasajeros de hasta 900 m de longitud.
2. Trenes de mercancías de hasta 1500 m de longitud.
3. Declividades de vía hasta $\pm 40\%$ (máximo valor hasta el que el modelo está validado y es aplicable, según la nota incluida en el apartado G.3 de la [Ref. 01]).
4. Porcentajes de peso freno: $30 \% \leq \lambda \leq 250 \%$.

Según el apartado F.3 de la [Ref. 11], el modelo podría no ser adecuado para valores de λ muy bajos en pendientes muy elevadas. En el anexo B de esta ET se establecen las limitaciones del modelo en estas circunstancias.

La elección de este modelo viene justificada por tres motivos:

1. En la mayoría de la RFIG se cumplen las restricciones de uso del modelo ETCS, es decir:
 - a. La longitud total máxima de los trenes es de 750 m, que es el límite establecido en el RCF [Ref. 04] para mercancías.
 - b. En general, la declividad no supera $\pm 40\%$.
 - c. Los valores de λ de la mayoría de los trenes, así como los de referencia utilizados para elaborar las tablas de esta ET están en el rango de 45% a 150%.
2. Escogiendo adecuadamente los factores de corrección que se emplean en el modelo ETCS, las distancias de frenado que se obtienen son prácticamente equivalentes a las definidas con el modelo de la NTC 020.95, a igualdad de prestaciones de frenado de los trenes.
3. El modelo ETCS es el que actualmente implementan los trenes que incorporan el ERTMS (Baseline 3) entre sus funcionalidades, estando avalado por la UIC y por la ERA.

A.2 MODELO DE CONVERSIÓN PARA TRENES LAMBDA. TIEMPO DE RESPUESTA EQUIVALENTE DEL FRENO

El cálculo del **tiempo de respuesta equivalente del FdE** se realiza conforme a lo indicado en el apartado F.4.2 de la [Ref. 11]. Para ello se emplean las expresiones (F.2) y (F.3) y los coeficientes indicados a continuación:

1. Trenes en régimen P:

$$t''_{fo} = a_v + b_v \cdot \frac{L'}{100} + c_v \cdot \left(\frac{L'}{100}\right)^2 \quad (F.2)$$

$$L' = \max(400m; \text{Longitud real}) \quad (F.3)$$

2. Valores de los coeficientes empleados:

Coefficiente	Para $L \leq 900$	Para $L > 900$ m (trenes mercancías)
a_v	2,3	- 0,4
b_v	0	1,6
c_v	0,17	0,03

Ejemplo de aplicación:

Tren Lambda de 400 m de longitud total, circulando en régimen P. Particularizando en la fórmula (2) con los valores de a_v , b_v , c_v y L' adecuados, resulta un tiempo de respuesta equivalente del FdE en condiciones nominales:

$$t''_{fo} = 2,3 + 0 \cdot \frac{400}{100} + 0,17 \cdot \left(\frac{400}{100}\right)^2 = 5,02 \text{ segundos}$$

Tipo de tren (Régimen de frenado, Longitud tren)	t''_{fo} (s)
(P, 400)	5,02

En los equipos embarcados de ETCS que utilizan el modelo, el maquinista, antes de iniciar la marcha, debe introducir el λ nominal y la longitud real del tren sin aplicar ningún factor kappa (κ) (el apartado G.4.4 de la UIC 544-1 indica que en ETCS no se usa el factor κ).

Por ello, a efectos del cálculo de las distancias de frenado para sistemas no embarcados, es necesario fijar una longitud y referir todas las distancias de frenado a esa longitud (400 m en esta ET). A través del factor κ , un tren de una longitud cualquiera se puede asimilar a uno de 400 m, y a partir de ahí calcular las distancias de frenado.

Dado que el **tren Lambda** empleado en esta ET para el cálculo de las distancias de frenado es un tren circulando en régimen P de 400 m de longitud total (independientemente de cuál sea su longitud real, ya que siempre se tiene que asimilar a ésta mediante la aplicación del factor κ), el valor de tiempo de respuesta equivalente del FdE obtenido en el ejemplo anterior (**5,02 s**) será utilizado a lo largo de la presente ET cuando se aplique el modelo de conversión de lambda (λ) en deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e).

Según el modelo ETCS, para el cálculo del tiempo de respuesta equivalente del freno, en el caso de frenados que no llegan hasta la parada, los tiempos t''_{fo} deben ser corregidos. Para ello se aplican las fórmulas (E5) y (E6) del apartado F.4.2 de la [Ref. 11], empleando el factor $k_{t0'}$ definido en función del valor c_t :

$$t'_{fo} = t''_{fo} \cdot k_{to} \tag{F.5}$$

$$k_{to} = \begin{cases} 1 + c_t & \text{para } v_t > 0 \\ 1 & \text{para } v_t = 0 \end{cases} \tag{F.6}$$

En la expresión anterior, v_t corresponde a la velocidad objetivo o final del proceso de frenado. Los valores que puede tomar c_t son los siguientes:

Tipo de Tren	c_t
Trenes de mercancías, régimen G	0,16
Trenes de mercancías, régimen P	0,20
Trenes de viajeros	0,20

Dado que el **tren Lambda** empleado en esta ET para el cálculo de las distancias de frenado es un tren de tipo (P, 400), el valor de c_t será siempre 0,20.

Por último, el tiempo obtenido t'_{fo} debe ser corregido por el factor K_{t_intr} (ver apartado A.4 de esta ET). Con esta última corrección se obtiene el tiempo de respuesta equivalente del freno, t_{fo} según la denominación que emplea el modelo de conversión de la [Ref. 11], o t_e según la notación de la presente ET:

$$t_e = t_{fo} = t'_{fo} \cdot K_{t_int} \tag{F.7}$$

A.3 MODELO DE CONVERSIÓN PARA TRENES LAMBDA. DECELERACIONES EN FUNCIÓN DEL λ

El cálculo de las deceleraciones de un tren a partir de su λ se realiza conforme a lo indicado en el apartado F.4.4 de la [Ref. 11].

La fórmula (F.12), junto con los parámetros de la tabla F.8, permiten determinar la deceleración ($d_{r,0}$) en el escalón más bajo de velocidad. Dicha deceleración es de aplicación desde 0 km/h hasta la velocidad límite v_L (definida en la fórmula F.13, con los parámetros de la tabla F.8).

F.4.4 - Se calculan las deceleraciones básicas $d_{r,n}$

Para $0 \leq v \leq v_L$ se debe utilizar la deceleración $d_{r,n}(\lambda_0)$ con λ_0 de la fórmula (F.14):

$$d_{r,0} = A \cdot \lambda_0 + B \tag{F.12}$$

$$v_L = x \cdot \lambda_0^y \tag{F.13}$$

Valores de coeficientes (consulte la Tabla F.8):

Tabla F.8

Símbolo	Tipo	Valor	Unidad
A	real	0,0075	$m/(s^2 \cdot \%)$
B	real	0,076	m/s^2
x	real	16,85/3,6	m/s^2
y	real	0,428	número

El parámetro λ_0 puede asumir distintos valores en función del modo de frenado (FdE o FdS máximo):

$$\lambda_0 = \begin{cases} \lambda & \text{para aplicaciones de freno de emergencia} \\ \text{mín}(\lambda, 135\%) & \text{para aplicaciones de freno de servicio completo} \end{cases} \quad \text{F (14)}$$

En esta ET, debido a que las distancias de FdS se calculan exclusivamente a partir de las pres-taciones de FdE, el valor de λ_0 será siempre igual a λ .

Para velocidades superiores a v_L , las deceleraciones ($d_{r,n}$) se obtienen por tramos, mediante las fórmulas (F.15) y los parámetros recogidos en la tabla F.9 que figuran a continuación. Dicha de-celeraciones $d_{r,n}$ deben ser corregidas por los factores $K_{r,int}$ y $K_{v,int}$ (ver apartado A.4 de esta ET), para obtener las deceleraciones, $d'_{p,n}$ y posteriormente las $d_{p,n}$. Sumando a estas últimas las corres-pondientes a la declividad y a la resistencia al avance en curvas, se obtienen las deceleraciones a_e según la notación de la presente ET.

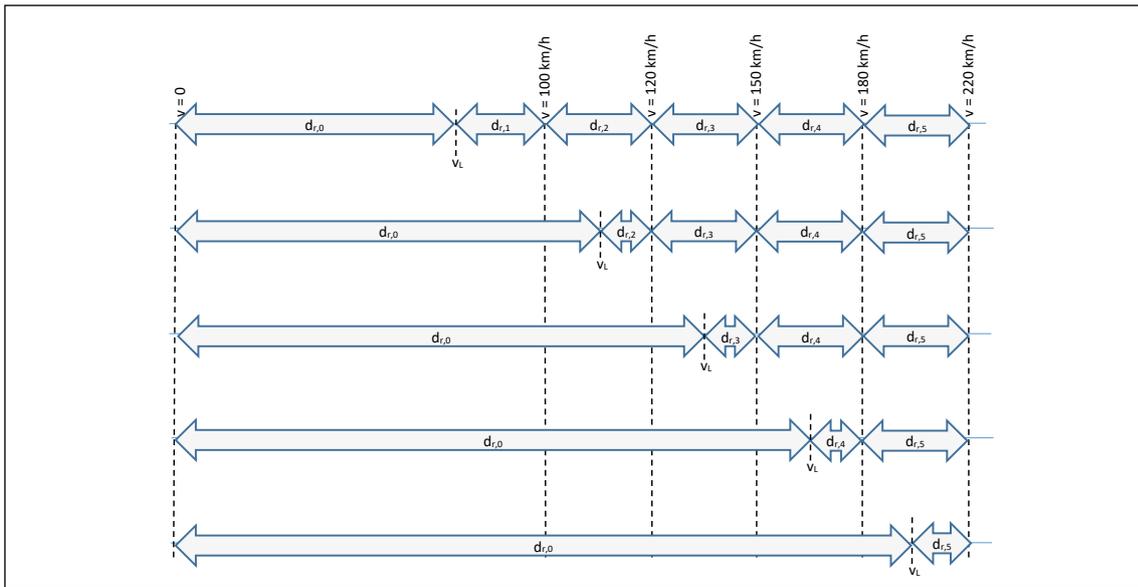
$d_{r,1} = a_{3,1} \cdot \lambda_0^3 + a_{2,1} \cdot \lambda_0^2 + a_{1,1} \cdot \lambda_0 + a_{0,1}$	Aplica si $v_L < v \leq 100$, si $v_L \leq 100 \text{ km/h}$, No se utiliza si $v_L > 100 \text{ km/h}$.	(F.15)
$d_{r,2} = a_{3,2} \cdot \lambda_0^3 + a_{2,2} \cdot \lambda_0^2 + a_{1,2} \cdot \lambda_0 + a_{0,2}$	Aplica si $v_L < v \leq 120$, si $100 < v_L \leq 120 \text{ km/h}$, Aplica si $100 < v \leq 120$, si $v_L \leq 100 \text{ km/h}$, No se utiliza si $v_L > 120 \text{ km/h}$	
$d_{r,3} = a_{3,3} \cdot \lambda_0^3 + a_{2,3} \cdot \lambda_0^2 + a_{1,3} \cdot \lambda_0 + a_{0,3}$	Aplica si $v_L < v \leq 150$, si $120 < v_L \leq 150 \text{ km/h}$, Aplica si $120 < v \leq 150$, si $v_L \leq 120 \text{ km/h}$, No se utiliza si $v_L > 150 \text{ km/h}$	
$d_{r,4} = a_{3,4} \cdot \lambda_0^3 + a_{2,4} \cdot \lambda_0^2 + a_{1,4} \cdot \lambda_0 + a_{0,4}$	Aplica si $v_L < v \leq 180$, si $150 < v_L \leq 180 \text{ km/h}$, Aplica si $150 < v \leq 180$, si $v_L \leq 150 \text{ km/h}$, No se utiliza si $v_L > 180 \text{ km/h}$	
$d_{r,5} = a_{3,5} \cdot \lambda_0^3 + a_{2,5} \cdot \lambda_0^2 + a_{1,5} \cdot \lambda_0 + a_{0,5}$	Aplica si $v_L < v \leq 220$, si $180 < v_L \leq 220 \text{ km/h}$, Aplica si $180 < v \leq 220$, si $v_L \leq 180 \text{ km/h}$	

Valores para coeficientes $a_{m,n}$ (consulte la tabla F.9):

Tabla F.9

$a_{m,n}$		$m =$			
		3	2	1	0
$n =$	1	$-6,30 \cdot 10^{-7}$	$6,10 \cdot 10^{-5}$	$4,72 \cdot 10^{-3}$	0,0663
	2	$2,73 \cdot 10^{-7}$	$-4,54 \cdot 10^{-6}$	$5,14 \cdot 10^{-3}$	0,1300
	3	$5,58 \cdot 10^{-8}$	$-6,76 \cdot 10^{-6}$	$5,81 \cdot 10^{-3}$	0,0479
	4	$3,00 \cdot 10^{-8}$	$-3,85 \cdot 10^{-6}$	$5,52 \cdot 10^{-3}$	0,0480
	5	$3,23 \cdot 10^{-9}$	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$5,06 \cdot 10^{-3}$	0,0559

A continuación, se muestra un esquema de aplicación de lo anterior:



Ejemplo de aplicación:

Para un tren con $\lambda = 65\%$, la deceleración para el tramo de velocidad más baja sería:

$$d_{r,0} = 0,0075 * 65 + 0,076 = 0,5635 \text{ m/s}^2$$

La velocidad límite (v_L) hasta la que es válida dicha deceleración sería:

$$v_L = \frac{16,85}{3,6} * 65^{0,428} = 27,93 \frac{m}{s} \equiv 100,58 \frac{km}{h}$$

Si fuese necesario determinar las deceleraciones para velocidades superiores a la velocidad límite, se aplicarían las expresiones (F.15).

Con esta formulación, el modelo permite obtener para cada valor de λ , un perfil de deceleración variable en función de la velocidad instantánea, de tipo escalonado.

Como ejemplo, en la siguiente gráfica se muestran los perfiles de deceleración que se obtienen aplicando el modelo para tres valores de λ : 50%, 135% y 200%.

La figura F4 muestra $d_{r,n}(\lambda)$ como una función de la velocidad actual, en un ejemplo donde $\lambda = 50\%$, $\lambda = 135\%$, y $\lambda = 200\%$

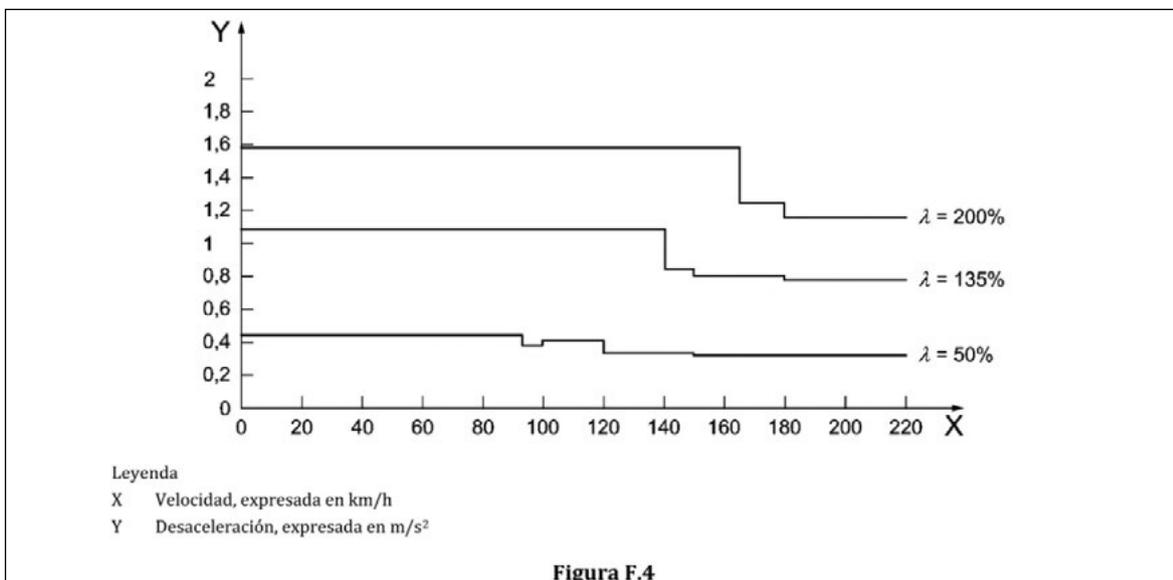


Figura F.4

A4 FACTORES DE CORRECCIÓN EN EL MODELO ETCS

A.4.1 DEFINICIONES

Los valores de deceleración y tiempos de respuesta equivalentes del FdE que inicialmente se obtienen a partir del parámetro λ con el modelo de conversión, no contienen ningún margen de seguridad. Corresponden a valores de distancias de frenado calculadas (u obtenidas directamente) en condiciones nominales de funcionamiento del FdE.

Por ello, el modelo ETCS incorpora unos factores de corrección (K_{t_int} , K_{r_int} , K_{v_int}) para las deceleraciones y el tiempo de respuesta equivalente del FdE, más una deceleración límite ($A_{MAXREDADH}$), que permiten adaptarlo a los requisitos nacionales, mediante la incorporación de los márgenes de seguridad que se consideren necesarios.

A continuación, se definen el significado y los posibles valores de cada uno de estos factores de corrección:

1. K_{t_int} = factor de corrección para el tiempo de respuesta equivalente del FdE. Se trata de un parámetro único cuyo rango es [0,0 – 1,55], en incrementos de 0,05 [Ref. 07; pág. 60].
2. K_{r_int} = factor de corrección para la deceleración. Depende de la longitud del tren. Se trata de un parámetro cuyo rango es [0,0 – 1,55], en incrementos de 0,05 [Ref. 07; pág. 60].
3. K_{v_int} = factor de corrección para la deceleración. Depende de la velocidad del tren. Se trata de un parámetro cuyo rango es [0,0 – 2,54], en incrementos de 0,02 [Ref. 07; pág. 60].
4. $A_{MAXREDADH}$ = límite de deceleración máxima en caso de adherencia reducida entre rueda y carril. Se trata de un parámetro único cuyo rango es [0,0 – 3,15 m/s^2], en incrementos de 0,05 [Ref. 07; pág. 43].

A.4.2 APLICACIÓN

Según las [Ref. 11] y [Ref. 07], dichos factores de corrección se aplican de la forma siguiente:

1. A las **deceleraciones**: Las deceleraciones ($d_{r,n}$) obtenidas mediante el modelo de conversión se deben multiplicar por K_{r_int} y por K_{v_int} :

$$d'_{p,n} = K_{r_int} * K_{v_int} * d_{r,n}$$

A continuación, si la zona de frenado se considera de adherencia reducida, la deceleración se limita a unos valores máximos:

$$d_{p,n} = \begin{cases} \min(d'_{p,n}; A_{MAXREDADH}) & \text{en zonas de adherencia reducida} \\ d'_{p,n} & \text{en zonas de adherencia no reducida} \end{cases}$$

3. Al **tiempo de respuesta equivalente del freno**: El tiempo (t'_{fo}) obtenido mediante el modelo de conversión se debe multiplicar por K_{t_int} :

$$t_e = t_{fo} = t'_{fo} \cdot K_{t_int} \quad (F.7)$$

A.4.3 VALORES CONSIDERADOS EN LA PRESENTE ET

1. Para el cálculo de las distancias de **FdE en condiciones nominales**, es decir, sin degradación del sistema de freno, se utilizan:

- $K_{t_int} = K_{r_int} = K_{v_int} = 1$

Esto quiere decir que las deceleraciones y tiempos de respuesta equivalentes del FdE que se obtienen con el modelo, o que se proporcionan como datos de entrada, son representativos de las distancias en de frenado reales en condiciones nominales. Por tanto, no se ha establecido ningún factor de corrección en estas variables.

- $A_{MAXREDADH}$: No se aplica

No se considera un límite de deceleración en situaciones de adherencia reducida para el caso de FdE en condiciones nominales. Las consideraciones realizadas en relación a las limitaciones de la capacidad de frenado por reducción de la adherencia se recogen en el apartado A.8 de esta ET.

2. Para el cálculo de las distancias de **FdE en condiciones degradadas y de FdS**, se utilizan:

- $K_{t_int} = 1$

Los tiempos de respuesta equivalentes del FdE que se obtienen con el modelo se consideran suficientes, en base a la experiencia. Por tanto, no se ha establecido ningún factor de corrección en esta variable.

- $K_{r_int} * K_{v_int}$:

Velocidad del tren (v)	$K_{r_int} * K_{v_int}$
$\leq 160 \text{ km/h}$	0,81
$>160 \text{ km/h}$	0,70

En la NTC 020.95 [Ref. 05] se consideró un factor de corrección único que cubría todas las velocidades hasta 160 km/h, todas las longitudes de tren, condiciones degradadas y modos degradados. El uso de ese factor de corrección, junto con un tiempo de reacción del maquinista de 4 s, ha aportado un margen de seguridad que ha demostrado ser suficientemente seguro con el paso del tiempo, sin condicionar demasiado la explotación. Por ello se ha decidido utilizar en esta ET unos factores de corrección equivalentes.

Así pues, para velocidades de **hasta 160 km/h**, se ha comprobado que al aplicar al modelo ETCS un factor $K_{r_int} * K_{v_int} = 0,81$, las distancias de frenado obtenidas son en líneas generales, similares a las establecidas en la NTC 020.95. Por tanto, dicho valor es el que se emplea como factor de corrección para las deceleraciones en la presente ET, tanto para trenes Lambda, como Gamma (utilizando su "λ estimado").

Dicho factor de 0,81 cubre los posibles incrementos en la distancia de frenado derivados de una reducción de la adherencia disponible entre rueda y carril y de la actuación de los sistemas antibloqueo, entre otros (ver apartado 9.2).

NOTA: Los valores concretos de K_{r_int} y de K_{v_int} son irrelevantes para esta ET, por lo que no se definen de forma individualizada.

Para velocidades **superiores a 160 km/h**, en la definición del factor $K_{r_int} * K_{v_int}$ se ha tenido en cuenta, tal como indica la ficha UIC 541-05 [Ref. 02], que los trenes de menos de 8 ejes dotados de sistema antibloqueo, en determinadas condiciones excepcionales, pueden sufrir incrementos en la distancia de frenado superiores al resto de unidades.

Por ello, dado que es preferible establecer un único valor de $K_{r_int} * K_{v_int}$ válido para todo tipo de trenes independientemente de su número de ejes, y teniendo en cuenta las características de las infraestructuras existentes (distancias entre señales) y de los trenes actuales, se ha fijado un factor de corrección de $K_{r_int} * K_{v_int} = 0,70$ para trenes circulando a velocidades superiores a 160 km/h (que afecta únicamente a las deceleraciones aplicables durante el frenado del tren en el intervalo de velocidad superior a 160 km/h).

- $A_{MAXREDADH} = 0,9 \text{ m/s}^2$

Debido a la existencia de situaciones de adherencia reducida entre rueda y carril, se establece la aplicación sistemática de un valor límite para la deceleración del FdE en condiciones degradadas de $0,9 \text{ m/s}^2$. Este valor, establecido en base a la experiencia, implica que independientemente de lo elevadas que sean las prestaciones de frenado de un tren en condiciones nominales, en ningún caso se considerará que su deceleración del FdE en condiciones degradadas o del FdS es superior a $0,9 \text{ m/s}^2$. Este factor de corrección incrementa las distancias de frenado en trenes de cualquier longitud con elevadas prestaciones de frenado nominales, a cualquier velocidad, en situaciones de adherencia reducida entre rueda y carril. Las consideraciones en relación con las limitaciones de la capacidad de frenado por la reducción de adherencia se recogen en el apartado A.8 de esta ET.

A.5 TIEMPO DE REACCIÓN DEL MAQUINISTA

Para el cálculo de las distancias de FdS se ha considerado un tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s, acorde con el considerado en las [Ref. 05] y [Ref. 06]. Durante este tiempo, se considera que la velocidad inicial (v_0) del tren se mantiene constante, independientemente de la declividad de la vía por la que circule.

A.6 DECELERACIONES DEBIDAS A LA DECLIVIDAD DE LA VÍA

El modelo ETCS tiene en cuenta la influencia de la gravedad en las rampas y pendientes. La deceleración debida a la declividad de vía se calcula mediante la fórmula:

$$d_i = \frac{g \cdot i}{\rho}$$

donde:

- g: aceleración de la gravedad. Se toma $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.
- i: declividad de la vía, expresada en tanto por uno (positiva en rampas, negativa en pendientes).
- ρ ($= m_{dyn}/m_{st}$): coeficiente de inercia de masas rotativas. Representa el efecto inercial de las masas en rotación existentes en el tren. Dicho efecto se traduce en una menor influencia de la gravedad sobre la deceleración del tren al frenar en rampa o pendiente. El modelo ETCS fija unos valores a emplear en caso de no disponer de los valores específicos del vehículo:
 - a. En rampas: $\rho = 1,15$.
 - b. En pendientes: $\rho = 1,02$.

A efectos de cálculo, si la declividad varía a lo largo de la frenada, se puede utilizar la declividad media ponderada en función de las longitudes afectadas, suponiendo concentrada toda la masa del tren en su punto medio. El valor obtenido se redondeará a la milésima inferior en rampas y a la superior (en valor absoluto) en pendientes.

Ejemplo de aplicación 1

Rampa de 8 ‰ en 250 m de longitud y rampa de 12 ‰ en 500 m de longitud.

$$\text{Declividad resultante} = \frac{8 \cdot 250 + 12 \cdot 500}{250 + 500} = 10,67\text{‰} \rightarrow 10\text{‰}$$

Ejemplo de aplicación 2

Pendiente de 10 ‰ en 500 m de longitud y pendiente de 15 ‰ en 1000 m de longitud.

$$\text{Declividad resultante} = \frac{-10 \cdot 500 - 15 \cdot 1000}{500 + 1000} = -13,34\text{‰} \rightarrow -14\text{‰}$$

A.7 RESISTENCIA EN CURVA

El efecto de resistencia al avance que sufre un tren al circular en curva puede asimilarse a una rampa ficticia, es decir, a un incremento positivo de la declividad, lo que se traduce en una deceleración adicional del tren respecto a una vía horizontal.

Existen diferentes fórmulas empíricas para cuantificar este efecto (Desdouits, Röckl, etc.). A partir de ellas se obtienen las expresiones simplificadas siguientes a utilizar en esta ET:

$$\text{Para ancho de vía } 1.668 \text{ mm: } W_{BO} = \frac{800}{r} \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

$$\text{Para ancho de vía } 1.435 \text{ mm: } W_{BO} = \frac{700}{r} \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

$$\text{Para ancho de vía } 1.000 \text{ mm: } W_{BO} = \frac{500}{r} \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

Para el caso de ancho de vía 1435 mm, pueden emplearse las expresiones de Röckl, aplicando un valor de interpolación redondeado para curvas de entre 250 y 350 m, cuya formulación es la siguiente:

$$\text{Para } r < 250 \text{ m: } W_{BO} = \frac{500}{r - 30} \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

$$\text{Para } 250 \text{ m} \leq r \leq 350 \text{ m: } W_{BO} = 2,2 \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

$$\text{Para } r > 350 \text{ m: } W_{BO} = \frac{650}{r - 55} \left[\frac{N}{kN} \text{ ó } \text{‰} \right]$$

No se tendrá en cuenta esta resistencia al avance en curvas de radios superiores a 5000 m, dado que su efecto se considera depreciable.

Dicho valor se suma siempre con signo positivo a la declividad media real de la vía en el tramo de frenado, obteniéndose como valor resultante una declividad ficticia, que corresponde al valor con el que debe entrarse en las tablas de distancias de frenado.

Ejemplo de aplicación (ancho de vía 1668 mm)

Rampa de 8 ‰ en 250 m de longitud y pendiente de 14 ‰ con curva de radio 400 m en 500 m.

$$\text{Declividad resultante} = \frac{8 \cdot 250 + \left(-14 + \frac{800}{400}\right) \cdot 500}{250 + 500} = -5,33\text{‰} \rightarrow -6\text{‰}$$

A.8 LIMITACIONES DE LAS PRESTACIONES DE FRENADO POR ADHERENCIA REDUCIDA

No se consideran explícitamente en esta ET los casos de baja adherencia (valores de coeficiente de adherencia entre rueda y carril $0,03 \leq \tau \leq 0,08$, según [Ref. 02]), ni de muy baja adherencia (valores de coeficiente de adherencia $\tau < 0,03$, según [Ref. 02]).

Se considera que los aumentos de las distancias de FdE debidos a las reducciones del coeficiente de adherencia más habituales, quedan cubiertos por los factores $K_r * K_v, A_{MAXREDADH}$. En FdS hay que añadir a los factores anteriores el tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$).

LÍMITES DE VALIDEZ DEL MODELO ETCS

Según se indica en la tabla 1 del apartado E.3 de la [Ref. 11], el modelo de cálculo ETCS se considera validado para declividades de hasta $\pm 40\%$, y porcentajes de peso freno λ entre [30%, 250%]. No obstante, la nota "b" asociada a dicha tabla indica que los λ más bajos no deberían ser usados en las pendientes más elevadas, de conformidad con las normas nacionales.

Para la circulación segura de un tren es imprescindible que puedan detenerse en cualquier punto de las líneas por las que está autorizado a circular, independientemente de su declividad, utilizando exclusivamente el FdE.

Incluso aunque un tren pudiera detenerse en pendientes muy elevadas utilizando para ello un FdS que por su naturaleza implicase un menor nivel de estrés térmico (por ejemplo, el freno dinámico), eso no elimina la necesidad de poder detener el tren utilizando exclusivamente el FdE.

Por ello, las limitaciones establecidas en este anexo afectan a los cálculos de todas las distancias de frenado definidas en esta ET: de emergencia en condiciones nominales, de emergencia condiciones degradadas y de freno de servicio.

En este anexo, se establecen limitaciones de uso del modelo ETCS utilizado, para las combinaciones de λ reducidos y pendientes elevadas, en función de la velocidad de circulación del tren (V_c) y su velocidad máxima nominal (V_{max}) definida por las características de sus vehículos. Asegurar la validez de las distancias de frenado para las distintas combinaciones de [λ , pendiente, V_c , V_{max}] fuera de los rangos establecidos en este anexo, independientemente de la metodología que se utilice, es responsabilidad del interesado y queda fuera del ámbito de esta ET.

B.1 LIMITACIONES DE λ EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD

Aunque el modelo admite valores de λ en el rango [30%, 250%], cuando se evalúan trenes con los diagramas de los apartados A.1 y B.1 de la [Ref. 11], los rangos de validez son los recogidos en el propio diagrama: valor mínimo de λ del 50 % para $V_c \geq 100 \text{ km/h}$.

Para trenes circulando a $V_c < 100 \text{ km/h}$, el Apéndice H de la [Ref. 01] indica que las fórmulas tienen validez en un rango de λ entre [30%, 150%].

En consecuencia, para el uso del modelo ETCS se establecen las mismas limitaciones, es decir, no serán válidas las distancias de frenado obtenidas con la formulación de esta ET para trenes circulando a:

- $V_c \geq 100 \text{ km/h}$, cuyo λ sea inferior al 50%.
- $V_c < 100 \text{ km/h}$ y cuyo λ esté fuera del rango [30%, 150%].

B.2 LIMITACIONES POR DECELERACIÓN MÍNIMA EFECTIVA

Con el fin de no alargar en exceso la frenada al circular en pendiente, es conveniente establecer un límite inferior a la deceleración media efectiva durante todo el proceso de frenado, es decir, a la disponible una vez descontado el efecto de la pendiente.

Para fijar el valor de esta deceleración puede tomarse como referencia la deceleración mínima detectable de $0,1 \text{ m/s}^2$ definida en las normas EN 16185. Por tanto, no serán válidas las distancias de frenado en las que las deceleraciones medias efectivas sean inferiores a $0,1 \text{ m/s}^2$.

Asumiendo una deceleración constante a lo largo de todo proceso de frenado, las deceleraciones residuales para cada λ y declividad se indican en la tabla siguiente. En color naranja figuran aquellas cuya deceleración media efectiva es inferior a $0,1 \text{ m/s}^2$.

		PORCENTAJE PESO-FRENO (%)							
		30	35	40	45	50	55	60	65
DECLIVIDAD (‰)	0	0,2438	0,2742	0,3046	0,3349	0,3653	0,3957	0,4261	0,4564
	-1	0,2342	0,2646	0,2949	0,3253	0,3557	0,3861	0,4164	0,4468
	-2	0,2246	0,2549	0,2853	0,3157	0,3461	0,3764	0,4068	0,4372
	-3	0,2150	0,2453	0,2757	0,3061	0,3365	0,3668	0,3972	0,4276
	-4	0,2053	0,2357	0,2661	0,2965	0,3268	0,3572	0,3876	0,4180
	-5	0,1957	0,2261	0,2565	0,2868	0,3172	0,3476	0,3780	0,4083
	-6	0,1861	0,2165	0,2469	0,2772	0,3076	0,3380	0,3684	0,3987
	-7	0,1765	0,2069	0,2372	0,2676	0,2980	0,3284	0,3587	0,3891
	-8	0,1669	0,1972	0,2276	0,2580	0,2884	0,3187	0,3491	0,3795
	-9	0,1573	0,1876	0,2180	0,2484	0,2788	0,3091	0,3395	0,3699
	-10	0,1476	0,1780	0,2084	0,2388	0,2691	0,2995	0,3299	0,3603
	-11	0,1380	0,1684	0,1988	0,2291	0,2595	0,2899	0,3203	0,3506
	-12	0,1284	0,1588	0,1891	0,2195	0,2499	0,2803	0,3106	0,3410
	-13	0,1188	0,1492	0,1795	0,2099	0,2403	0,2707	0,3010	0,3314
	-14	0,1092	0,1395	0,1699	0,2003	0,2307	0,2610	0,2914	0,3218
	-15	0,0995	0,1299	0,1603	0,1907	0,2210	0,2514	0,2818	0,3122
	-16	0,0899	0,1203	0,1507	0,1811	0,2114	0,2418	0,2722	0,3026
	-17	0,0803	0,1107	0,1411	0,1714	0,2018	0,2322	0,2626	0,2929
	-18	0,0707	0,1011	0,1314	0,1618	0,1922	0,2226	0,2529	0,2833
	-19	0,0611	0,0914	0,1218	0,1522	0,1826	0,2129	0,2433	0,2737
	-20	0,0515	0,0818	0,1122	0,1426	0,1730	0,2033	0,2337	0,2641
	-21	0,0418	0,0722	0,1026	0,1330	0,1633	0,1937	0,2241	0,2545
	-22	0,0322	0,0626	0,0930	0,1233	0,1537	0,1841	0,2145	0,2448
	-23	0,0226	0,0530	0,0834	0,1137	0,1441	0,1745	0,2049	0,2352
	-24	0,0130	0,0434	0,0737	0,1041	0,1345	0,1649	0,1952	0,2256
	-25	0,0034	0,0337	0,0641	0,0945	0,1249	0,1552	0,1856	0,2160
	-26	-0,0062	0,0241	0,0545	0,0849	0,1153	0,1456	0,1760	0,2064
	-27	-0,0159	0,0145	0,0449	0,0753	0,1056	0,1360	0,1664	0,1968
	-28	-0,0255	0,0049	0,0353	0,0656	0,0960	0,1264	0,1568	0,1871
	-29	-0,0351	-0,0047	0,0256	0,0560	0,0864	0,1168	0,1471	0,1775
	-30	-0,0447	-0,0143	0,0160	0,0464	0,0768	0,1072	0,1375	0,1679
	-31	-0,0543	-0,0240	0,0064	0,0368	0,0672	0,0975	0,1279	0,1583
	-32	-0,0640	-0,0336	-0,0032	0,0272	0,0575	0,0879	0,1183	0,1487
	-33	-0,0736	-0,0432	-0,0128	0,0176	0,0479	0,0783	0,1087	0,1391
	-34	-0,0832	-0,0528	-0,0224	0,0079	0,0383	0,0687	0,0991	0,1294
	-35	-0,0928	-0,0624	-0,0321	-0,0017	0,0287	0,0591	0,0894	0,1198

La pendiente máxima alcanzable en base al criterio anterior será aplicable a los tres modos de frenado: FdE nominal, FdE en condiciones degradadas y FdS.

En las tablas de los apartados C.1 a C.5 de esta ET, se han marcado en color rojo las distancias de frenado en las que se superan las pendientes límites derivadas de la aplicación de este criterio. En ellas, no se considera directamente válido el modelo.

TABLAS DE DISTANCIAS DE FRENADO

A continuación, se muestran, para los diferentes tipos de trenes y condiciones indicadas en el apartado 11 de esta ET, las tablas de distancias de frenado siguientes:

- **Tabla 1:** Distancias de **FdE en condiciones nominales:** trenes de tipo Lambda (P, 400).
- **Tabla 1bis:** Distancias de **FdE en condiciones degradadas:** trenes de tipo Lambda (P, 400).
- **Tabla 2:** Distancias de **FdS** hasta parada: trenes de tipo Lambda (P, 400).
- **Tabla 3:** Distancias de **FdS** hasta parada: tren de tipo Lambda (P,400) para distintos porcentajes de peso freno.
- **Tabla 4:** Distancias de **FdS para reducción desde una velocidad inicial (v_0) a una final (v_{fin}):** tren de tipo Lambda (P, 400).
- **Tabla 5:** Distancias de FdS hasta parada de un tren tipo (P, 400) con $\lambda = 50\%$, circulando a distintas velocidades.
- **Tabla 6:** Distancias de FdS hasta parada de un tren tipo (P, 400) con $\lambda = 65\%$, circulando a distintas velocidades.
- **Tabla 7:** Distancias de FdS hasta parada de un tren tipo (P, 400) con $\lambda = 118\%$, circulando a distintas velocidades.
- **Tabla 8:** Distancias de FdS hasta parada de un tren tipo (P, 400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades.

Nota: La distancias de FdS de la tabla 8 corresponderían también a las de un tren Gamma cuyas prestaciones de FdE en condiciones nominales fueran:

Tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE	Deceleración media (m/s^2) medida entre el final de t_e y el momento de alcanzar la velocidad objetivo, v_{fin}	
	200 - 170 km/h	170 - 0 km/h
3 s	1,05	1,2

C.1 TABLA 1. DISTANCIAS DE FRENADO DE EMERGENCIA EN CONDICIONES NOMINALES: TRENES DE TIPO LAMBDA (P, 400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%	
DECLIVIDAD (%)	35	117	174	241	309	381	457	536	607	685	766	864	954	1048	1139	1237	1330	1431	
	34	72	118	176	244	312	385	461	542	613	773	872	962	1057	1148	1247	1340	1442	
	33	73	120	178	248	316	389	466	547	619	697	780	880	970	1066	1157	1256	1350	1452
	32	74	121	180	251	320	394	471	553	625	703	787	887	978	1074	1167	1266	1360	1463
	31	75	123	183	254	324	398	477	559	631	710	794	895	987	1083	1176	1276	1370	1473
	30	76	125	185	257	328	403	482	565	637	717	802	903	995	1093	1186	1286	1381	1484
	29	77	126	188	261	332	408	487	571	644	723	809	912	1004	1102	1195	1296	1391	1495
	28	78	128	190	264	336	412	493	577	650	730	817	920	1013	1111	1205	1306	1402	1506
	27	79	130	193	268	340	417	498	583	657	737	825	929	1022	1121	1215	1317	1413	1517
	26	80	132	195	271	345	422	504	589	663	744	833	937	1031	1131	1225	1327	1424	1529
	25	81	134	198	275	349	428	510	596	670	752	841	946	1040	1141	1236	1338	1435	1540
	24	82	135	201	279	354	433	516	603	677	759	849	955	1050	1151	1246	1349	1446	1552
	23	84	137	204	283	358	438	522	609	685	767	858	965	1060	1161	1257	1360	1458	1564
	22	85	139	207	287	363	444	529	616	692	774	866	974	1070	1172	1268	1372	1469	1576
	21	86	142	210	291	368	450	535	624	700	782	875	984	1080	1182	1279	1383	1481	1589
	20	88	144	213	295	373	456	542	631	707	790	884	993	1090	1193	1290	1395	1493	1601
19	89	146	216	300	379	462	549	638	715	798	893	1003	1100	1204	1302	1407	1506	1614	
18	90	148	220	305	384	468	556	646	723	807	903	1014	1111	1216	1313	1419	1518	1627	

Tabla 1. Distancias de Frenado de Emergencia en condiciones nominales: trenes de tipo Lambda (P, 400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
17	92	150	223	309	390	474	563	654	731	815	912	1024	1122	1227	1325	1432	1531	1640
16	93	153	226	314	395	481	570	662	740	824	922	1035	1133	1239	1337	1444	1544	1654
15	95	155	230	319	401	488	578	670	748	833	932	1045	1144	1251	1350	1457	1557	1667
14	96	158	234	324	407	495	585	679	757	842	942	1057	1156	1263	1362	1470	1571	1681
13	98	161	238	330	414	502	593	687	766	851	953	1068	1168	1276	1375	1483	1584	1695
12	100	163	242	335	420	509	601	696	775	861	963	1079	1180	1288	1388	1497	1598	1710
11	102	166	246	341	427	517	610	705	785	871	974	1091	1192	1301	1401	1511	1612	1724
10	103	169	250	347	434	524	618	715	794	881	986	1103	1205	1314	1415	1525	1627	1739
9	105	172	255	353	441	532	627	724	804	891	997	1116	1217	1328	1429	1539	1641	1754
8	107	175	259	359	448	541	636	734	814	901	1009	1128	1230	1342	1443	1554	1656	1770
7	109	179	264	366	456	549	646	744	825	912	1021	1141	1244	1356	1457	1569	1672	1785
6	111	182	269	373	464	558	655	755	835	923	1033	1155	1257	1370	1472	1584	1687	1801
5	114	185	274	380	472	567	665	766	846	934	1046	1168	1271	1385	1487	1599	1703	1818
4	116	189	279	387	480	576	675	777	858	945	1058	1182	1286	1400	1502	1615	1719	1834
3	118	193	285	395	489	586	686	788	869	957	1072	1196	1300	1415	1518	1631	1735	1851
2	121	197	291	403	498	596	697	800	881	969	1085	1211	1315	1431	1534	1648	1752	1868
1	123	201	297	411	507	606	708	812	893	981	1099	1226	1331	1447	1550	1664	1769	1886
0	126	205	303	420	517	617	720	824	906	994	1113	1241	1346	1463	1567	1682	1787	1904

Tabla 1. Distancias de Frenado de Emergencia en condiciones nominales: trenes de tipo Lambda (P, 400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
-1	129	210	310	430	528	630	733	839	920	1009	1130	1259	1365	1482	1586	1701	1807	1924
-2	132	215	318	440	540	643	747	853	935	1025	1147	1277	1384	1502	1606	1722	1827	1945
-3	136	221	326	451	552	656	762	869	951	1042	1165	1296	1403	1522	1626	1742	1848	1966
-4	139	227	335	463	565	670	777	885	967	1059	1183	1315	1423	1543	1647	1764	1870	1988
-5	143	233	344	475	579	685	793	902	983	1076	1202	1336	1443	1564	1668	1786	1892	2011
-6	147	239	353	488	593	700	809	920	1000	1094	1221	1356	1464	1586	1690	1808	1914	2034
-7	151	246	363	502	608	717	826	938	1018	1113	1241	1377	1486	1608	1713	1831	1937	2057
-8	156	253	373	517	624	734	844	957	1036	1133	1262	1399	1508	1631	1736	1855	1961	2081
-9	160	261	385	532	641	751	863	977	1055	1153	1283	1422	1532	1655	1759	1879	1985	2106
-10	166	269	396	548	658	770	882	997	1075	1174	1305	1446	1555	1679	1784	1904	2010	2131
-11	171	277	409	566	677	789	902	1019	1096	1195	1328	1470	1580	1704	1809	1929	2036	2157
-12	177	286	422	584	696	810	924	1041	1117	1218	1352	1495	1606	1730	1835	1956	2062	2184
-13	183	296	437	604	717	831	946	1064	1139	1241	1377	1521	1632	1757	1861	1983	2089	2211
-14	189	307	452	625	739	854	969	1089	1162	1266	1402	1548	1659	1785	1889	2010	2116	2239
-15	196	318	468	647	762	878	994	1115	1186	1291	1429	1576	1687	1813	1917	2039	2145	2267
-16	203	330	486	671	787	904	1020	1141	1211	1317	1457	1605	1716	1843	1946	2068	2174	2297
-17	211	343	505	697	814	931	1047	1170	1237	1345	1486	1636	1746	1874	1976	2099	2204	2327
-18	220	356	525	725	842	959	1076	1199	1264	1374	1516	1667	1778	1905	2007	2130	2235	2358

Tabla 1. Distancias de Frenado de Emergencia en condiciones nominales: trenes de tipo Lambda (P, 400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%	
DECLIVIDAD (‰)	-19	230	372	547	756	873	989	1106	1230	1292	1404	1547	1700	1810	1938	2039	2162	2266	2390
	-20	240	388	571	789	905	1022	1138	1263	1322	1435	1580	1734	1844	1972	2073	2196	2299	2422
	-21	251	406	597	825	941	1056	1172	1298	1353	1468	1614	1769	1879	2007	2107	2230	2333	2456
	-22	263	425	626	865	979	1093	1208	1334	1386	1502	1650	1806	1916	2044	2142	2265	2368	2491
	-23	277	447	657	908	1020	1133	1247	1373	1420	1539	1688	1845	1954	2081	2179	2302	2403	2526
	-24	291	471	692	956	1064	1175	1288	1414	1456	1577	1727	1886	1993	2121	2217	2340	2440	2563
	-25	308	497	731	1010	1113	1221	1331	1457	1493	1617	1768	1928	2035	2162	2257	2379	2478	2601
	-26	326	527	774	1069	1167	1271	1378	1503	1533	1659	1812	1972	2078	2205	2298	2420	2518	2640
	-27	347	560	823	1137	1226	1324	1428	1552	1575	1704	1858	2019	2123	2249	2340	2462	2558	2680
	-28	370	598	878	1213	1291	1383	1481	1605	1619	1752	1906	2068	2170	2295	2384	2506	2601	2722
	-29	397	641	942	1300	1364	1446	1539	1661	1666	1802	1957	2120	2220	2344	2430	2551	2644	2764
	-30	428	691	1015	1400	1445	1516	1602	1721	1715	1856	2012	2174	2272	2395	2478	2598	2689	2809
	-31	464	749	1100	1517	1536	1593	1670	1786	1768	1913	2069	2231	2326	2448	2528	2647	2736	2854
	-32	507	817	1200	1656	1639	1678	1744	1856	1824	1974	2130	2292	2384	2503	2580	2697	2784	2902
	-33	558	899	1321	1822	1758	1773	1824	1932	1883	2039	2196	2357	2444	2561	2634	2750	2834	2951
-34	621	1000	1468	2025	1895	1879	1913	2014	1947	2110	2266	2425	2508	2623	2691	2805	2887	3002	
-35	699	1126	1652	2279	2054	1998	2010	2103	2015	2186	2340	2498	2576	2687	2750	2863	2941	3054	

Tabla 1. Distancias de Frenado de Emergencia en condiciones nominales: trenes de tipo Lambda (P, 400)

C.2 TABLA 1BIS. DISTANCIAS DE FRENADO DE EMERGENCIA EN CONDICIONES DEGRADADAS: TRENES DE TIPO LAMBDA (P400)

C.2.1 TABLA 1BIS. DISTANCIAS DE FdE EN CONDICIONES DEGRADADAS: TRENES DE TIPO LAMBDA (P400), CON $v_0 \geq 30$ KM/H

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
35	75	125	187	261	336	417	503	593	675	764	857	969	1073	1182	1294	1422	1545	1684
34	76	127	190	265	341	422	509	600	682	771	866	979	1083	1193	1306	1435	1559	1699
33	77	129	192	269	345	428	515	607	689	780	875	989	1094	1204	1318	1448	1573	1714
32	78	130	195	273	350	433	521	614	697	788	884	999	1104	1216	1331	1461	1587	1729
31	79	132	198	277	355	439	528	621	705	796	894	1009	1115	1227	1343	1475	1601	1745
30	81	134	201	281	360	445	535	629	713	805	903	1020	1127	1239	1356	1489	1616	1760
29	82	136	204	285	365	451	541	637	721	814	913	1031	1138	1252	1369	1503	1631	1777
28	83	138	207	289	370	457	548	644	730	822	923	1042	1150	1264	1383	1518	1647	1793
27	84	141	210	294	375	463	556	653	738	832	933	1053	1161	1277	1397	1533	1662	1810
26	86	143	214	298	381	470	563	661	747	841	944	1064	1174	1290	1411	1548	1678	1827
25	87	145	217	303	387	476	571	669	756	851	954	1076	1186	1303	1425	1563	1695	1844
24	89	147	220	308	393	483	578	678	765	860	965	1088	1199	1316	1440	1579	1711	1862
23	90	150	224	313	399	490	586	687	775	870	976	1100	1212	1330	1455	1595	1728	1880
22	92	152	228	318	405	497	595	696	784	881	988	1113	1225	1344	1470	1611	1746	1899
21	93	155	232	323	411	505	603	706	794	891	1000	1126	1238	1359	1485	1628	1763	1918
20	95	158	236	329	418	512	612	715	805	902	1012	1139	1252	1373	1501	1645	1782	1937
19	97	160	240	334	425	520	621	725	815	913	1024	1152	1266	1388	1518	1663	1800	1957
18	98	163	244	340	432	529	630	735	826	924	1036	1166	1281	1404	1534	1681	1819	1977

Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P400), con $v_0 \geq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%	
DECLIVIDAD (‰)	17	100	166	248	346	439	537	639	746	837	936	1049	1180	1296	1420	1551	1699	1838	1997
	16	102	169	253	353	447	546	649	757	848	948	1063	1195	1311	1436	1569	1717	1858	2018
	15	104	173	258	359	454	555	659	768	860	960	1076	1209	1326	1452	1587	1737	1878	2040
	14	106	176	263	366	462	564	670	779	872	972	1090	1225	1342	1469	1605	1756	1898	2061
	13	108	179	268	373	471	573	680	791	884	985	1104	1240	1358	1486	1623	1776	1919	2084
	12	110	183	273	381	479	583	692	803	897	998	1119	1256	1375	1504	1643	1797	1941	2107
	11	113	187	278	388	488	594	703	816	910	1012	1134	1272	1392	1522	1662	1817	1963	2130
	10	115	190	284	396	498	604	715	829	923	1025	1150	1289	1410	1540	1682	1839	1986	2154
	9	118	195	290	405	507	615	727	842	937	1040	1166	1307	1428	1559	1703	1861	2009	2179
	8	120	199	296	413	518	627	740	856	951	1054	1182	1324	1446	1579	1724	1883	2032	2204
	7	123	203	303	422	528	638	753	870	966	1069	1199	1343	1465	1599	1746	1907	2057	2229
	6	126	208	310	432	539	651	766	885	981	1085	1216	1361	1484	1619	1768	1930	2081	2256
	5	129	212	317	442	550	664	780	900	996	1101	1234	1381	1504	1640	1791	1954	2107	2282
	4	132	217	324	452	562	677	795	916	1012	1117	1252	1401	1525	1662	1814	1979	2133	2310
	3	135	223	332	463	575	691	810	932	1029	1134	1271	1421	1546	1684	1838	2005	2160	2338
	2	138	228	340	474	587	705	826	949	1046	1151	1291	1442	1568	1707	1863	2031	2187	2367
	1	142	234	349	486	601	720	842	967	1064	1169	1311	1464	1590	1730	1888	2058	2216	2397
0	146	240	358	498	615	736	859	985	1082	1188	1332	1487	1613	1754	1914	2086	2245	2428	

Tabla 1bis. Distancias de FcIE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P,400), con $v_0 \geq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
-1	150	247	368	513	632	754	879	1006	1104	1211	1356	1513	1640	1783	1945	2119	2278	2463
-2	155	255	380	529	650	773	900	1028	1126	1234	1382	1540	1668	1813	1976	2152	2313	2500
-3	160	263	392	546	668	794	922	1052	1149	1258	1408	1568	1697	1843	2009	2187	2349	2537
-4	165	272	405	564	688	815	945	1076	1173	1284	1435	1597	1727	1875	2042	2222	2386	2576
-5	171	281	418	583	709	838	969	1102	1198	1310	1463	1627	1758	1908	2077	2259	2424	2617
-6	177	291	433	603	731	862	994	1129	1225	1338	1493	1659	1790	1942	2113	2298	2464	2658
-7	183	302	449	625	755	887	1021	1157	1252	1367	1524	1692	1823	1978	2151	2337	2505	2701
-8	190	313	466	648	780	914	1049	1187	1281	1397	1556	1726	1858	2015	2189	2378	2547	2745
-9	198	325	484	673	808	943	1079	1219	1311	1428	1589	1762	1894	2053	2230	2421	2591	2791
-10	206	338	503	701	837	973	1111	1252	1342	1461	1624	1799	1931	2093	2272	2465	2637	2839
-11	215	353	525	730	868	1006	1144	1287	1375	1496	1661	1837	1971	2134	2315	2511	2684	2888
-12	224	369	548	763	901	1041	1180	1324	1410	1532	1699	1878	2011	2177	2361	2559	2733	2939
-13	235	386	573	798	938	1078	1218	1363	1447	1570	1740	1920	2054	2223	2408	2609	2784	2992
-14	246	404	601	836	977	1118	1258	1405	1485	1610	1782	1965	2098	2270	2457	2661	2837	3047
-15	259	425	632	879	1020	1161	1301	1449	1526	1652	1827	2012	2145	2319	2509	2716	2892	3104
-16	273	448	665	925	1066	1207	1348	1496	1568	1697	1874	2061	2193	2371	2563	2772	2950	3164
-17	288	473	703	978	1117	1257	1397	1546	1614	1744	1923	2112	2244	2425	2619	2832	3010	3226
-18	306	501	745	1036	1173	1312	1451	1600	1661	1794	1975	2167	2298	2482	2678	2894	3073	3291

Tabla 1bis. Distancias de FcE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P400), con $v_0 \geq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
-19	325	533	792	1102	1235	1371	1508	1658	1712	1847	2031	2224	2354	2541	2741	2959	3139	3358
-20	347	570	846	1176	1304	1436	1570	1719	1766	1903	2089	2285	2413	2604	2806	3027	3207	3429
-21	373	611	907	1262	1381	1508	1638	1786	1824	1963	2152	2349	2476	2670	2875	3099	3280	3502
-22	402	659	979	1360	1468	1587	1712	1858	1885	2028	2219	2417	2542	2740	2947	3174	3355	3579
-23	437	715	1062	1476	1566	1674	1792	1936	1951	2096	2290	2489	2611	2815	3024	3254	3435	3660
-24	477	782	1160	1613	1679	1772	1881	2021	2022	2170	2366	2567	2685	2893	3105	3338	3518	3745
-25	526	862	1279	1777	1808	1883	1979	2114	2097	2250	2448	2649	2764	2977	3191	3427	3607	3834
-26	587	960	1424	1979	1960	2007	2087	2216	2179	2337	2536	2737	2847	3066	3282	3521	3700	3928
-27	662	1083	1606	2232	2138	2149	2208	2328	2267	2431	2631	2832	2936	3161	3380	3621	3798	4027
-28	760	1242	1842	2560	2353	2313	2344	2452	2363	2534	2735	2935	3031	3263	3484	3728	3903	4132
-29	891	1456	2159	3000	2616	2504	2497	2590	2467	2648	2848	3045	3133	3373	3595	3842	4014	4243
-30	1076	1759	2608	3623	2944	2730	2672	2745	2581	2773	2972	3165	3243	3491	3715	3964	4132	4360
-31	1359	2220	3291	4571	3366	2999	2874	2920	2706	2914	3109	3296	3361	3620	3844	4095	4258	4485
-32	1841	3007	4457	6191	3929	3328	3108	3118	2844	3072	3262	3439	3489	3759	3984	4236	4393	4617
-33	2853	4657	6902	9586	4719	3737	3383	3346	2996	3253	3432	3597	3628	3912	4136	4389	4538	4759
-34	6316	10308	15272	21209	5905	4261	3712	3610	3166	3464	3625	3772	3780	4080	4302	4554	4694	4910
-35					7885	4956	4112	3920	3356	3713	3845	3968	3947	4267	4485	4735	4862	5072

Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P400), con $v_0 \geq 30$ km/h

C.2.2 TABLA 1BIS. DISTANCIAS DE FdE EN CONDICIONES DEGRADADAS: TRENES DE TIPO LAMBDA (P400), CON $v_0 \leq 30$ KM/H

VELOCIDAD (km/h)	10				15				20				25				30			
	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150
λ (%)	11	11	11	11	23	22	21	20	37	35	33	31	55	51	46	43	75	69	62	58
	12	11	11	11	23	22	21	20	38	35	33	31	55	51	47	44	76	70	63	58
	12	12	11	11	24	23	21	21	38	36	33	32	56	52	47	44	77	71	63	59
	12	12	12	11	24	23	22	21	39	36	34	32	57	53	48	45	78	72	64	59
	12	12	12	12	24	23	22	21	39	37	34	32	58	53	48	45	79	73	65	60
	13	12	12	12	25	24	22	21	40	37	35	33	59	54	49	45	81	73	65	60
	13	13	12	12	25	24	22	22	41	38	35	33	60	55	49	46	82	74	66	61
	13	13	12	12	26	24	23	22	41	39	35	33	61	56	50	46	83	75	67	61
	13	13	13	12	26	25	23	22	42	39	36	34	62	56	51	47	84	76	68	62
	14	13	13	12	26	25	23	22	43	40	36	34	63	57	51	47	86	77	68	62
	14	13	13	13	27	25	24	23	44	40	37	34	64	58	52	48	87	79	69	63
	14	14	13	13	27	26	24	23	44	41	37	35	65	59	52	48	89	80	70	63
	14	14	13	13	28	26	24	23	45	41	37	35	66	60	53	49	90	81	71	64
	15	14	14	13	29	27	25	23	46	42	38	35	67	60	54	49	92	82	71	65
	15	14	14	13	29	27	25	24	47	43	38	36	68	61	54	50	93	83	72	65
	15	15	14	14	30	28	25	24	48	43	39	36	69	62	55	50	95	84	73	66
	16	15	14	14	30	28	26	24	48	44	39	36	71	63	55	51	97	86	74	66
	16	15	14	14	31	28	26	24	49	45	40	37	72	64	56	51	98	87	75	67

Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P400), con $v_0 \leq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	10				15				20				25				30			
	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150
17	16	16	15	14	31	29	26	25	50	45	40	37	73	65	57	52	100	88	76	68
16	17	16	15	14	32	29	27	25	51	46	41	38	75	66	57	52	102	89	76	68
15	17	16	15	15	33	30	27	25	52	47	41	38	76	67	58	53	104	91	77	69
14	18	17	15	15	33	30	27	26	53	48	42	38	78	68	59	53	106	92	78	70
13	18	17	16	15	34	31	28	26	55	49	43	39	79	69	60	54	108	94	79	70
12	19	17	16	15	35	32	28	26	56	49	43	39	81	71	60	54	110	95	80	71
11	19	18	16	15	36	32	29	27	57	50	44	40	83	72	61	55	113	97	81	72
10	19	18	17	16	36	33	29	27	58	51	44	40	84	73	62	55	115	98	82	72
9	20	18	17	16	37	33	30	27	59	52	45	41	86	74	63	56	118	100	83	73
8	20	19	17	16	38	34	30	28	61	53	45	41	88	76	64	57	120	102	84	74
7	21	19	17	16	39	35	30	28	62	54	46	42	90	77	64	57	123	104	85	75
6	22	20	18	17	40	35	31	28	64	55	47	42	92	78	65	58	126	105	86	75
5	22	20	18	17	41	36	31	29	65	56	47	42	94	80	66	58	129	107	88	76
4	23	20	18	17	42	37	32	29	67	57	48	43	97	81	67	59	132	109	89	77
3	23	21	19	17	43	38	32	29	68	58	49	43	99	83	68	60	135	111	90	78
2	24	21	19	18	44	38	33	30	70	59	49	44	101	84	69	60	138	113	91	79
1	25	22	19	18	46	39	33	30	72	60	50	45	104	86	70	61	142	116	92	80
0	25	22	20	18	47	40	34	31	74	62	51	45	107	88	71	62	146	118	94	80

Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P400), con $v_0 \leq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	10				15				20				25				30			
	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150
λ (%)	26	23	20	19	48	41	35	31	76	63	52	46	110	90	72	62	150	121	95	81
-1	27	24	21	19	50	42	35	31	79	65	53	46	114	92	73	63	155	123	97	82
-2	28	24	21	19	52	43	36	32	81	66	54	47	117	94	74	64	160	126	98	83
-3	29	25	21	20	53	44	36	32	84	68	55	48	121	96	76	65	165	129	100	85
-4	30	26	22	20	55	45	37	33	87	70	56	48	125	99	77	66	171	132	102	86
-5	32	26	22	20	57	47	38	33	90	71	57	49	130	101	78	67	177	136	103	87
-6	33	27	23	21	60	48	39	34	94	73	58	50	135	104	80	68	183	139	105	88
-7	34	28	23	21	62	49	39	34	97	75	59	50	140	107	81	68	190	143	107	89
-8	36	29	24	21	65	51	40	35	101	77	60	51	146	110	83	69	198	147	109	90
-9	37	30	24	22	67	52	41	36	105	80	61	52	152	113	84	70	206	151	111	91
-10	39	31	25	22	70	54	42	36	110	82	62	53	158	116	86	71	215	155	113	93
-11	41	32	26	23	74	55	43	37	115	85	63	53	165	119	87	72	224	160	115	94
-12	43	33	26	23	77	57	44	37	121	87	65	54	173	123	89	73	235	165	117	95
-13	45	34	27	23	81	59	45	38	127	90	66	55	182	127	91	74	246	170	119	97
-14	48	35	27	24	85	61	46	39	133	93	67	56	191	131	93	76	259	175	122	98
-15	51	37	28	24	90	63	47	39	140	96	69	57	201	135	95	77	273	181	124	99
-16	54	38	29	25	96	65	48	40	149	99	70	58	213	140	97	78	288	187	127	101
-17	57	40	30	25	101	68	49	41	158	103	72	58	226	145	99	79	306	193	129	102
-18																				

Tabla 1bis. Distancias de FcE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P,400), con $v_0 \leq 30$ km/h

VELOCIDAD (km/h)	10				15				20				25				30			
	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150	45	65	100	150
-19	61	41	30	26	108	70	50	41	168	107	73	59	240	150	101	80	325	200	132	104
-20	66	43	31	26	116	73	51	42	179	111	75	60	257	156	103	81	347	208	135	105
-21	71	45	32	27	124	76	52	43	193	115	77	61	276	162	105	83	373	216	138	107
-22	76	47	33	27	134	79	53	43	208	120	78	62	297	168	108	84	402	225	141	109
-23	83	49	34	28	146	83	55	44	226	125	80	63	323	176	110	85	437	234	144	110
-24	91	51	35	28	160	87	56	45	247	131	82	64	353	183	113	87	477	244	148	112
-25	101	54	35	29	177	91	58	46	273	137	84	66	389	192	115	88	526	256	151	114
-26	113	57	37	30	197	95	59	47	304	143	86	67	434	201	118	90	587	268	155	116
-27	128	60	38	30	223	100	61	48	344	151	89	68	490	211	121	91	662	281	159	118
-28	147	63	39	31	256	106	62	48	395	159	91	69	563	222	124	93	760	296	163	120
-29	173	67	40	32	301	112	64	49	463	168	93	70	660	234	128	94	891	312	167	122
-30	210	71	41	32	364	118	66	50	560	178	96	72	797	248	131	96	1076	330	171	124
-31	266	75	42	33	461	126	68	51	708	189	99	73	1007	264	135	98	1359	351	176	126
-32	362	81	44	34	625	135	70	52	960	201	102	74	1365	281	138	100	1841	374	181	128
-33	562	87	45	34	970	144	72	53	1488	216	105	76	2115	301	142	101	2853	400	186	130
-34	1249	94	47	35	2151	155	74	54	3296	232	108	77	4684	324	147	103	6316	430	191	133
-35		101	48	36		168	77	56		251	111	79		350	151	105		465	197	135

Tabla 1bis. Distancias de FdE en condiciones degradadas: Trenes de tipo Lambda (P,400), con $v_0 \leq 30$ km/h

C.3 TABLA 2. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA: TRENES DE TIPO LAMBDA (P,400)

VELOCIDAD (km/h)	DECLIVIDAD (%)																			
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200		
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%		
35	108	169	243	328	414	506	603	704	797	897	1002	1125	1239	1359	1483	1622	1756	1906		
34	109	171	245	332	419	511	609	711	804	905	1011	1135	1250	1371	1495	1635	1770	1921		
33	110	173	248	336	423	517	615	718	812	913	1020	1144	1260	1382	1507	1648	1784	1936		
32	112	175	251	339	428	522	621	725	819	921	1029	1155	1271	1393	1519	1661	1798	1951		
31	113	177	254	343	433	528	628	732	827	929	1038	1165	1282	1405	1532	1675	1813	1967		
30	114	179	256	347	438	534	635	740	835	938	1048	1175	1293	1417	1545	1689	1827	1983		
29	115	181	259	352	443	540	641	748	843	947	1057	1186	1305	1429	1558	1703	1842	1999		
28	117	183	263	356	448	546	648	756	852	956	1067	1197	1316	1442	1572	1718	1858	2015		
27	118	185	266	360	453	552	656	764	860	965	1078	1208	1328	1454	1586	1733	1874	2032		
26	119	187	269	365	459	558	663	772	869	974	1088	1220	1340	1467	1600	1748	1890	2049		
25	121	189	272	369	464	565	671	780	878	984	1099	1232	1353	1481	1614	1763	1906	2067		
24	122	192	276	374	470	572	678	789	888	994	1110	1244	1365	1494	1629	1779	1923	2084		
23	124	194	280	379	476	579	686	798	897	1004	1121	1256	1378	1508	1644	1795	1940	2103		
22	125	197	283	385	483	586	695	807	907	1014	1132	1268	1391	1522	1659	1811	1957	2121		
21	127	199	287	390	489	594	703	817	917	1024	1144	1281	1405	1536	1674	1828	1975	2140		
20	128	202	291	395	496	601	712	826	927	1035	1156	1294	1419	1551	1690	1845	1993	2159		
19	130	205	295	401	502	609	721	836	937	1046	1168	1308	1433	1566	1707	1863	2011	2179		
18	132	208	299	407	509	617	730	846	948	1058	1181	1322	1447	1582	1723	1881	2030	2199		

Tabla 2. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: trenes de tipo Lambda (P,400)

VELOCIDAD (km/h)	DECLIVIDAD (%)																			
	λ (%)	45%	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
17	45%	134	211	304	413	517	626	739	857	959	1069	1194	1336	1462	1597	1740	1899	2049	2219	
16		135	214	308	420	524	635	749	868	970	1081	1207	1350	1477	1613	1758	1917	2069	2240	
15		137	217	313	426	532	643	759	879	982	1093	1221	1365	1493	1630	1775	1937	2089	2262	
14		139	220	318	433	540	653	770	890	994	1106	1235	1380	1509	1647	1794	1956	2110	2284	
13		142	224	323	440	549	662	780	902	1006	1118	1249	1396	1525	1664	1812	1976	2131	2306	
12		144	227	329	447	557	672	792	914	1019	1131	1263	1412	1542	1682	1831	1997	2152	2329	
11		146	231	334	455	566	683	803	927	1032	1145	1279	1428	1559	1700	1851	2017	2174	2352	
10		148	235	340	463	576	693	815	940	1045	1159	1294	1445	1576	1718	1871	2039	2197	2376	
9		151	239	346	471	585	704	827	953	1059	1173	1310	1462	1594	1737	1892	2061	2220	2401	
8		153	243	352	480	595	716	840	967	1073	1188	1326	1480	1613	1757	1913	2083	2243	2426	
7		156	248	358	489	606	727	853	981	1088	1203	1343	1498	1632	1777	1934	2107	2268	2451	
6		159	252	365	498	617	740	866	996	1103	1218	1361	1517	1651	1797	1957	2130	2293	2478	
5		162	257	372	508	628	752	880	1011	1119	1234	1378	1536	1671	1818	1979	2154	2318	2505	
4		165	262	380	519	640	766	895	1027	1135	1251	1397	1556	1692	1840	2003	2179	2344	2532	
3		168	267	388	529	652	779	910	1043	1151	1267	1416	1577	1713	1862	2027	2205	2371	2561	
2		172	273	396	541	665	794	926	1060	1168	1285	1435	1598	1734	1885	2052	2231	2398	2590	
1		175	278	404	553	679	809	942	1078	1186	1303	1456	1620	1757	1908	2077	2258	2427	2619	
0		179	285	413	565	693	824	959	1096	1204	1321	1476	1642	1780	1932	2103	2286	2456	2650	

Tabla 2. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: trenes de tipo Lambda (P400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
-1	183	292	424	580	710	843	979	1117	1226	1344	1501	1668	1807	1961	2134	2319	2489	2685
-2	188	299	435	596	727	862	1000	1139	1248	1367	1526	1695	1835	1991	2165	2352	2524	2722
-3	193	308	447	612	746	883	1022	1163	1271	1392	1552	1723	1863	2021	2198	2387	2560	2760
-4	198	316	460	630	766	904	1045	1187	1295	1417	1580	1753	1893	2053	2231	2422	2597	2799
-5	204	325	474	649	787	927	1069	1213	1321	1444	1608	1783	1924	2086	2266	2459	2635	2839
-6	210	335	489	670	809	951	1094	1240	1347	1471	1637	1815	1956	2120	2302	2498	2675	2880
-7	217	346	504	691	833	976	1121	1268	1374	1500	1668	1847	1990	2156	2339	2537	2716	2923
-8	223	357	521	715	858	1003	1149	1298	1403	1530	1700	1881	2025	2192	2378	2578	2758	2967
-9	231	370	539	740	885	1032	1179	1330	1433	1561	1734	1917	2061	2231	2419	2621	2802	3013
-10	239	383	559	767	914	1062	1211	1363	1465	1594	1769	1954	2098	2270	2460	2665	2848	3061
-11	248	397	580	797	946	1095	1244	1398	1498	1629	1805	1993	2137	2312	2504	2711	2895	3110
-12	258	413	604	829	979	1129	1280	1435	1532	1665	1844	2034	2178	2355	2549	2759	2944	3161
-13	268	430	629	864	1015	1167	1318	1474	1569	1703	1884	2076	2221	2400	2597	2809	2995	3214
-14	279	449	657	903	1055	1206	1358	1516	1607	1743	1927	2121	2265	2447	2646	2861	3048	3269
-15	292	469	687	945	1097	1249	1401	1560	1648	1785	1971	2167	2311	2497	2698	2916	3104	3327
-16	306	492	721	992	1144	1296	1448	1607	1691	1830	2018	2216	2360	2548	2752	2972	3161	3386
-17	322	518	758	1044	1195	1346	1497	1657	1736	1877	2067	2268	2411	2602	2808	3032	3221	3448
-18	339	546	800	1103	1251	1400	1551	1711	1784	1927	2120	2322	2465	2659	2867	3094	3284	3513

Tabla 2. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: trenes de tipo Lambda (P,400)

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
λ (%)	45%	45%	45%	45%	50%	55%	60%	65%	73%	80%	88%	95%	103%	110%	118%	125%	133%	140%
-19	359	578	848	1168	1313	1460	1608	1769	1835	1980	2175	2380	2521	2719	2929	3159	3350	3580
-20	381	614	901	1243	1382	1525	1670	1831	1889	2036	2234	2440	2580	2782	2995	3227	3419	3651
-21	406	656	963	1328	1459	1597	1738	1897	1946	2097	2296	2504	2643	2848	3064	3299	3491	3725
-22	436	704	1034	1427	1546	1676	1812	1969	2008	2161	2363	2573	2708	2918	3136	3374	3566	3802
-23	470	760	1117	1543	1644	1763	1892	2047	2073	2230	2434	2645	2778	2992	3213	3454	3646	3883
-24	511	826	1216	1679	1756	1861	1981	2132	2144	2304	2510	2722	2852	3071	3294	3538	3729	3967
-25	560	906	1334	1844	1886	1971	2079	2225	2220	2384	2592	2805	2930	3155	3380	3627	3818	4057
-26	620	1004	1479	2046	2037	2096	2187	2327	2301	2470	2680	2893	3014	3244	3471	3721	3911	4151
-27	695	1127	1662	2299	2216	2238	2308	2439	2390	2565	2776	2988	3103	3339	3568	3821	4009	4250
-28	793	1287	1898	2627	2431	2402	2444	2563	2485	2668	2880	3090	3198	3441	3673	3928	4114	4354
-29	924	1501	2215	3067	2693	2593	2597	2701	2590	2781	2993	3201	3300	3551	3784	4042	4225	4465
-30	1110	1803	2663	3690	3022	2818	2772	2856	2703	2907	3117	3321	3410	3669	3904	4164	4343	4582
-31	1392	2264	3346	4638	3444	3088	2974	3031	2828	3047	3254	3452	3528	3798	4033	4295	4469	4707
-32	1875	3052	4513	6258	4007	3417	3208	3229	2966	3205	3406	3595	3656	3937	4173	4436	4604	4839
-33	2886	4702	6957	9652	4797	3826	3483	3457	3118	3386	3577	3753	3795	4090	4325	4589	4749	4981
-34	6349	10352	15328	21275	5982	4350	3812	3721	3288	3597	3769	3928	3947	4258	4491	4754	4905	5132
-35					7963	5045	4212	4031	3478	3847	3990	4123	4113	4445	4674	4935	5073	5295

Tabla 2. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: trenes de tipo Lambda (P,400)

Nota: Para una misma declividad, se puede dar el caso de que la distancia de frenado a una velocidad sea menor que la calculada a una velocidad inferior. Esto es debido a que, para esa declividad, la disminución de λ no se compensa totalmente por la reducción de velocidad. Esta circunstancia deberá tenerse en cuenta en los diseños de señalización.

C.4 TABLA 3. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA: TREN DE TIPO LAMBDA (P,400) PARA DISTINTOS PORCENTAJES DE PESO FRENO

VELOCIDAD (km/h)	30			40			50			60			70			80			90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
λ (%)	112	110	108	107	173	169	166	256	249	243	237	328	320	439	426	414	404	536	520	506	493	638	620	603	588	113	111	109	108	175	171	168	252	245	240	352	341	332	444	431	419	408	542	526	511	498	645	626	609	593	115	112	110	109	181	177	173	262	255	248	356	345	336	449	436	423	412	548	532	517	503	652	633	615	599	116	114	112	110	183	179	175	265	258	251	361	349	339	455	441	428	416	555	538	522	508	659	640	621	605	117	115	113	111	186	181	177	268	261	254	365	354	343	460	446	433	421	561	544	528	513	667	647	628	611	119	116	114	112	188	183	179	272	264	256	370	358	347	466	451	438	425	568	550	534	519	675	654	635	617	120	118	115	113	190	185	181	275	267	259	375	363	352	472	457	443	430	575	557	540	524	683	661	641	623	122	119	117	114	193	188	183	279	270	263	380	367	356	479	462	448	435	583	563	546	530	691	669	648	630	123	120	118	116	196	190	185	283	274	266	386	372	360	485	468	453	440	590	570	552	536	700	677	656	637	125	122	119	117	198	192	187	287	278	269	391	377	365	492	474	459	445	598	577	558	542	709	685	663	643	127	123	121	118	201	195	189	291	281	272	397	383	369	499	481	464	450	606	584	565	548	718	693	671	650	128	125	122	119	204	197	192	295	285	276	403	388	374	506	487	470	455	614	592	572	554	727	701	678	658	130	127	124	121	207	200	194	300	289	280	409	393	379	513	494	476	461	623	600	579	560	737	710	686	665	132	128	125	122	210	203	197	304	293	283	416	399	385	521	501	483	466	631	608	586	567	746	719	695	672	134	130	127	124	213	206	199	309	297	287	422	405	390	529	508	489	472	640	616	594	574	757	728	703	680	136	132	128	125	216	209	202	314	302	291	429	411	395	537	515	496	478	650	624	601	581	767	738	712	688	138	134	130	127	220	212	205	319	306	295	436	418	401	545	523	502	485	659	633	609	588	778	748	721	696	140	136	132	128	223	215	208	325	311	299	444	424	407	554	530	509	491	670	642	617	595	789	758	730	705

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P,400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	30			40			50			60			70			80			90								
	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45	35	40	45						
17	142	138	134	130	227	218	211	204	330	316	304	293	452	431	413	397	563	538	517	680	651	626	603	801	768	739	713
16	145	140	135	132	231	222	214	207	336	321	308	297	460	438	420	403	573	547	524	691	661	635	611	813	779	749	722
15	147	142	137	134	235	225	217	210	342	327	313	302	468	446	426	409	582	556	532	702	671	643	619	825	790	759	732
14	150	144	139	135	239	229	220	213	348	332	318	306	477	453	433	415	593	565	540	713	681	653	627	838	802	770	741
13	152	147	142	137	243	233	224	216	355	338	323	311	486	461	440	421	603	574	549	725	692	662	636	851	814	780	751
12	155	149	144	139	248	237	227	219	362	344	329	315	495	470	447	428	614	584	557	738	703	672	645	865	826	792	761
11	158	152	146	141	253	241	231	222	369	350	334	320	506	478	455	435	626	594	566	751	714	683	654	880	839	803	771
10	161	154	148	143	258	246	235	226	376	357	340	325	516	487	463	442	638	605	576	764	726	693	664	894	852	815	782
9	164	157	151	146	263	250	239	229	384	363	346	331	527	497	471	449	651	616	585	779	739	704	674	910	866	827	793
8	168	160	153	148	269	255	243	233	392	371	352	336	539	507	480	457	664	627	595	793	752	716	684	926	880	840	804
7	171	163	156	150	275	260	248	237	401	378	358	342	551	517	489	465	678	639	606	809	765	727	694	942	895	853	816
6	175	166	159	153	281	265	252	241	410	386	365	348	563	528	498	473	692	651	617	825	779	740	705	960	910	866	828
5	179	170	162	155	287	271	257	245	420	394	372	354	577	540	508	482	707	665	628	841	794	752	717	978	926	880	840
4	183	173	165	158	294	276	262	250	430	403	380	360	591	552	519	491	723	678	640	859	809	766	728	997	942	895	853
3	187	177	168	161	301	283	267	254	441	412	388	367	606	564	529	500	740	693	652	877	824	779	741	1016	959	910	867
2	192	181	172	164	309	289	273	259	452	421	396	374	622	578	541	510	758	708	665	896	841	794	753	1037	977	926	881
1	197	185	175	167	317	296	278	264	464	431	404	382	639	592	553	520	776	723	679	916	858	809	766	1058	996	942	895
0	202	189	179	170	325	303	285	269	477	442	413	389	657	606	565	531	796	740	693	938	876	824	780	1081	1015	959	910

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	30						40						50						60						70						80						90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60	35	40	45	50	55	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
λ (%)	208	194	183	174	336	311	292	275	492	465	424	398	678	624	580	543	820	760	710	668	898	843	796	1109	1038	979	928	215	200	188	178	347	321	299	282	509	468	435	408	702	643	596	557	845	780	727	683	920	862	813	1138	1062	1000	946	222	206	193	182	359	330	308	289	527	483	447	418	727	663	612	571	872	803	746	699	1018	944	883	1168	1088	1022	965	230	212	198	187	372	341	316	296	546	498	460	429	754	685	630	586	901	826	766	716	1048	970	904	1201	1114	1045	985	238	219	204	192	386	352	325	304	567	515	474	441	783	708	649	602	932	851	787	733	1081	996	927	1235	1143	1069	1006	248	227	210	197	401	364	335	312	590	533	489	453	815	733	670	618	965	878	809	752	1115	1025	951	1272	1172	1094	1028	258	234	217	202	418	377	346	321	615	553	504	466	850	761	691	636	1001	907	833	772	1152	1055	976	1311	1204	1121	1051	269	243	223	208	436	392	357	330	643	574	521	480	888	790	715	656	1040	939	858	793	1192	1088	1003	1354	1237	1149	1076	281	253	231	214	457	407	370	340	673	597	539	494	931	822	740	676	1083	972	885	816	1235	1122	1032	1399	1273	1179	1101	295	263	239	221	479	424	383	351	707	622	559	510	978	857	767	698	1129	1008	914	840	1281	1159	1062	1447	1311	1211	1128	310	274	248	228	504	443	397	363	744	650	580	527	1030	896	797	722	1180	1047	946	865	1331	1199	1095	1499	1351	1244	1156	327	287	258	236	532	463	413	375	786	680	604	546	1088	938	829	747	1237	1090	979	892	1386	1242	1129	1556	1394	1280	1186	346	300	268	244	564	486	430	389	833	714	629	565	1155	985	864	774	1299	1137	1015	921	1446	1288	1167	1617	1440	1318	1218	368	316	279	253	600	511	449	403	887	751	657	587	1230	1037	903	804	1368	1188	1055	953	1511	1339	1206	1684	1490	1358	1252	393	333	292	263	641	539	469	419	949	793	687	610	1316	1096	945	836	1446	1244	1097	986	1583	1383	1249	1757	1543	1401	1287	422	352	306	273	689	571	492	436	1021	841	721	636	1416	1161	992	871	1534	1306	1144	1022	1663	1453	1296	1837	1601	1448	1325	456	374	322	285	745	607	518	455	1105	894	758	663	1534	1236	1044	910	1633	1375	1195	1062	1751	1518	1346	1925	1663	1497	1366	496	399	339	298	812	648	546	476	1205	956	800	694	1674	1322	1103	952	1747	1453	1251	1105	1850	1590	1400	2023	1731	1551	1409

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	100					110					120					130					140					150					160					
	55	60	65	70	75	68	73	78	83	88	75	80	85	90	95	78	83	88	93	98	85	90	95	100	105	83	88	93	98	103	90	95	100	105	110	115
35	745	723	704	686	844	819	797	777	947	921	897	875	1117	1054	1002	958	1244	1179	1125	1071	1367	1301	1239	1179	1500	1430	1359	1296	113	103	93	83	73	63	53	
34	753	731	711	693	852	827	804	784	956	929	905	883	1128	1064	1011	966	1257	1190	1135	1079	1380	1313	1250	1188	1515	1443	1371	1306	114	104	94	84	74	64	54	
33	762	738	718	699	861	835	812	791	966	938	913	890	1140	1074	1020	974	1270	1201	1144	1088	1394	1325	1260	1198	1529	1456	1382	1316	115	105	95	85	75	65	55	
32	770	746	725	706	870	843	819	798	975	947	921	898	1152	1085	1029	982	1283	1213	1155	1097	1407	1337	1271	1207	1544	1469	1393	1326	116	106	96	86	76	66	56	
31	779	754	732	713	879	852	827	805	985	956	929	906	1164	1096	1038	991	1296	1225	1165	1106	1422	1349	1282	1217	1559	1482	1405	1337	117	107	97	87	77	67	57	
30	788	762	740	720	889	860	835	813	995	965	938	914	1177	1107	1048	999	1310	1237	1175	1115	1436	1362	1293	1226	1574	1496	1417	1347	118	108	98	88	78	68	58	
29	797	770	748	727	898	869	843	820	1005	975	947	922	1190	1118	1057	1008	1324	1249	1186	1125	1451	1375	1305	1236	1590	1510	1429	1358	119	109	99	89	79	69	59	
28	807	779	756	734	908	878	852	828	1016	984	956	930	1204	1129	1067	1017	1338	1261	1197	1134	1466	1388	1316	1247	1606	1524	1442	1369	120	110	100	90	80	70	60	
27	817	788	764	742	918	888	860	836	1026	994	965	939	1217	1141	1078	1026	1353	1274	1208	1144	1481	1402	1328	1257	1623	1538	1454	1380	121	111	101	91	81	71	61	
26	827	796	772	749	929	897	869	844	1037	1004	974	947	1231	1153	1088	1035	1368	1287	1220	1154	1497	1416	1340	1268	1640	1553	1467	1391	122	112	102	92	82	72	62	
25	837	806	780	757	940	907	878	853	1049	1015	984	956	1246	1165	1099	1044	1384	1300	1232	1164	1514	1430	1353	1278	1657	1569	1481	1403	123	113	103	93	83	73	63	
24	848	815	789	765	951	917	888	861	1060	1025	994	965	1261	1178	1110	1054	1400	1314	1244	1175	1530	1444	1365	1289	1675	1584	1494	1415	124	114	104	94	84	74	64	
23	859	825	798	774	962	927	897	870	1072	1036	1004	975	1276	1191	1121	1064	1416	1328	1256	1185	1547	1459	1378	1301	1693	1600	1508	1427	125	115	105	95	85	75	65	
22	870	835	807	782	973	938	907	879	1084	1047	1014	984	1292	1204	1132	1074	1433	1343	1268	1196	1565	1474	1391	1312	1711	1616	1522	1439	126	116	106	96	86	76	66	
21	882	845	817	791	985	949	917	888	1097	1059	1024	994	1308	1218	1144	1084	1450	1357	1281	1207	1583	1490	1405	1324	1730	1633	1536	1452	127	117	107	97	87	77	67	
20	894	856	826	800	998	960	927	897	1109	1070	1035	1004	1324	1232	1156	1095	1468	1372	1294	1219	1601	1506	1419	1336	1750	1650	1551	1465	128	118	108	98	88	78	68	
19	906	867	836	809	1010	971	937	907	1123	1082	1046	1014	1342	1246	1168	1105	1486	1388	1308	1230	1620	1522	1433	1348	1770	1667	1566	1478	129	119	109	99	89	79	69	
18	919	878	846	818	1023	983	948	917	1136	1095	1058	1024	1359	1261	1181	1116	1505	1404	1322	1242	1640	1539	1447	1360	1791	1685	1582	1491	130	120	110	100	90	80	70	

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	100					110					120					130					140					150					160				
	55	60	65	70	73	78	75	80	85	88	98	85	75	85	95	105	83	93	103	113	90	100	110	120											
17	933	890	857	828	807	995	959	927	1150	1107	1069	1035	1377	1276	1194	1128	1524	1420	1336	1254	1660	1556	1462	1373	1812	1703	1597	1505							
16	946	902	868	838	815	1008	970	937	1164	1120	1081	1046	1396	1292	1207	1139	1544	1437	1350	1267	1680	1574	1477	1386	1834	1722	1613	1519							
15	960	915	879	848	825	1021	982	948	1179	1134	1093	1057	1415	1308	1221	1151	1564	1454	1365	1279	1701	1592	1493	1399	1856	1741	1630	1533							
14	975	928	890	858	835	1034	994	959	1194	1147	1106	1068	1435	1324	1235	1163	1585	1472	1380	1292	1723	1610	1509	1413	1879	1761	1647	1547							
13	990	941	902	869	846	1047	1006	970	1210	1161	1118	1080	1456	1341	1249	1175	1607	1490	1396	1306	1746	1629	1525	1427	1902	1781	1664	1562							
12	1006	955	914	880	857	1061	1019	982	1226	1176	1131	1092	1477	1358	1263	1188	1629	1509	1412	1319	1769	1649	1542	1441	1927	1802	1682	1577							
11	1022	969	927	891	868	1076	1032	993	1242	1191	1145	1104	1499	1376	1279	1201	1652	1528	1428	1333	1792	1669	1559	1455	1952	1823	1700	1593							
10	1039	984	940	903	880	1091	1045	1006	1259	1206	1159	1117	1521	1395	1294	1214	1676	1548	1445	1347	1817	1690	1576	1470	1977	1845	1718	1609							
9	1057	999	953	915	892	1106	1059	1018	1276	1222	1173	1130	1545	1414	1310	1228	1701	1568	1462	1362	1842	1711	1594	1485	2004	1868	1737	1625							
8	1075	1015	967	928	905	1122	1073	1031	1295	1238	1188	1143	1569	1434	1326	1242	1726	1589	1480	1377	1868	1733	1613	1501	2031	1891	1757	1642							
7	1094	1032	981	941	918	1138	1088	1044	1313	1255	1203	1157	1594	1454	1343	1256	1753	1611	1498	1392	1895	1755	1632	1517	2059	1915	1777	1659							
6	1113	1049	996	954	931	1155	1103	1058	1332	1272	1218	1171	1620	1475	1361	1271	1780	1633	1517	1408	1922	1778	1651	1533	2088	1939	1797	1676							
5	1134	1067	1011	967	944	1172	1119	1072	1352	1289	1234	1185	1647	1497	1378	1286	1808	1657	1536	1424	1951	1802	1671	1550	2118	1964	1818	1694							
4	1155	1085	1027	982	959	1190	1135	1086	1373	1308	1251	1200	1675	1519	1397	1301	1837	1680	1556	1441	1981	1827	1692	1567	2149	1990	1840	1712							
3	1177	1104	1043	996	973	1209	1151	1101	1394	1327	1267	1215	1704	1542	1416	1317	1867	1705	1577	1458	2011	1852	1713	1585	2180	2017	1862	1731							
2	1201	1124	1060	1011	988	1228	1168	1116	1416	1346	1285	1231	1734	1566	1435	1334	1899	1730	1598	1475	2043	1878	1734	1603	2213	2044	1885	1750							
1	1225	1145	1078	1027	1004	1248	1186	1132	1439	1366	1303	1247	1765	1591	1456	1351	1931	1757	1620	1493	2076	1905	1757	1621	2247	2072	1908	1770							
0	1250	1167	1096	1043	1020	1269	1204	1148	1462	1387	1321	1264	1798	1616	1476	1368	1965	1784	1642	1512	2109	1933	1780	1640	2283	2102	1932	1790							

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	100					110					120					130					140					150					160																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	55	60	65	70	75	68	73	78	83	88	70	75	80	85	90	78	83	88	93	98	75	80	85	90	95	83	88	93	98	103	83	88	93	98	103	90	95	100	105	110																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
-1	1280	1192	1117	1062	1373	1293	1226	1167	1491	1412	1344	1284	1836	1646	1501	1388	2005	1816	1668	1533	2149	1966	1807	1662	2325	2136	1961	1814	1311	1218	1139	1082	1403	1319	1248	1187	1521	1439	1367	1305	1876	1678	1526	1409	2046	1849	1695	1555	2191	2000	1835	1685	2368	2172	1991	1839	1311	1218	1139	1082	1403	1319	1248	1187	1521	1439	1367	1305	1876	1678	1526	1409	2046	1849	1695	1555	2191	2000	1835	1685	2368	2172	1991	1839	1344	1246	1163	1102	1433	1345	1271	1208	1552	1466	1392	1327	1919	1711	1552	1431	2090	1883	1723	1578	2235	2035	1863	1709	2414	2210	2021	1864	1379	1275	1187	1124	1465	1373	1295	1229	1585	1495	1417	1350	1963	1745	1580	1454	2135	1919	1753	1602	2280	2072	1893	1733	2462	2249	2053	1891	1415	1306	1213	1146	1499	1402	1321	1251	1619	1525	1444	1373	2010	1780	1608	1477	2183	1956	1783	1626	2328	2110	1924	1758	2512	2289	2086	1918	1454	1338	1240	1169	1535	1432	1347	1274	1655	1556	1471	1398	2059	1818	1637	1501	2234	1996	1815	1652	2378	2150	1956	1785	2564	2332	2120	1946	1496	1372	1268	1194	1572	1464	1374	1298	1693	1589	1500	1423	2111	1857	1668	1526	2287	2036	1847	1678	2430	2191	1990	1811	2618	2376	2156	1975	1540	1408	1298	1219	1612	1497	1403	1323	1732	1623	1530	1450	2166	1898	1700	1552	2342	2079	1881	1705	2485	2235	2025	1839	2676	2422	2192	2005	1587	1446	1330	1246	1653	1532	1433	1349	1774	1659	1561	1478	2225	1941	1734	1579	2401	2124	1917	1733	2543	2280	2061	1868	2736	2470	2231	2036	1637	1487	1363	1274	1697	1569	1465	1377	1818	1697	1594	1507	2287	1987	1769	1607	2464	2171	1954	1763	2603	2327	2098	1898	2799	2520	2270	2069	1691	1529	1398	1304	1744	1608	1498	1405	1865	1737	1629	1537	2353	2035	1805	1636	2529	2221	1993	1793	2667	2377	2137	1929	2866	2572	2312	2102	1748	1575	1435	1335	1794	1649	1532	1435	1914	1779	1665	1569	2423	2085	1844	1667	2599	2273	2034	1825	2735	2429	2178	1961	2936	2627	2355	2137	1811	1624	1474	1367	1846	1692	1569	1466	1967	1823	1703	1602	2498	2139	1884	1699	2674	2328	2076	1858	2807	2484	2221	1994	3010	2685	2400	2173	1878	1676	1516	1402	1902	1738	1607	1499	2022	1870	1743	1637	2578	2195	1927	1732	2753	2386	2121	1892	2883	2541	2265	2029	3089	2746	2447	2211	1950	1732	1560	1438	1962	1787	1648	1533	2081	1920	1785	1673	2665	2256	1971	1767	2838	2447	2167	1928	2963	2602	2311	2065	3172	2810	2497	2250	2029	1792	1607	1477	2026	1838	1691	1570	2145	1972	1830	1712	2758	2319	2018	1803	2928	2512	2216	1965	3049	2666	2360	2103	3261	2877	2548	2290	2115	1857	1657	1517	2095	1893	1736	1608	2212	2028	1877	1752	2858	2387	2067	1841	3026	2581	2268	2004	3140	2733	2411	2142	3355	2948	2602	2333	2210	1927	1711	1561	2169	1952	1784	1648	2285	2088	1927	1795	2967	2460	2120	1881	3131	2654	2322	2045	3238	2804	2465	2183	3456	3023	2659	2377

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

VELOCIDAD (km/h)	100					110					120					130					140					150					160				
	55	60	65	70	75	68	73	78	83	88	75	80	85	90	95	78	83	88	93	98	85	90	95	100	105	88	93	98	103	108	95	100	105	110	115
λ (%)	2313	2003	1769	1607	1456	2248	2015	1835	1690	1558	2362	2151	1980	1840	1732	2538	2175	1923	3244	2732	2380	2088	3343	2880	2521	2225	3564	3103	2719	2423					
	2428	2086	1831	1656	1505	2334	2082	1889	1735	1607	2447	2219	2036	1887	1732	2622	2234	1967	3367	2815	2440	2132	3455	2960	2580	2270	3680	3188	2782	2472					
	2556	2176	1897	1708	1556	2428	2153	1946	1782	1649	2538	2292	2097	1938	1782	2712	2296	2013	3501	2904	2504	2179	3577	3046	2643	2316	3805	3278	2848	2523					
	2700	2275	1969	1764	1612	2529	2231	2008	1832	1690	2637	2371	2161	1991	1832	2809	2363	2062	3647	3000	2573	2229	3708	3137	2708	2365	3940	3374	2918	2576					
	2862	2384	2047	1825	1673	2640	2314	2073	1885	1742	2745	2456	2230	2049	1885	2915	2434	2114	3808	3103	2645	2281	3850	3234	2778	2416	4086	3477	2992	2632					
	3046	2505	2132	1891	1739	2762	2405	2144	1942	1800	2864	2549	2304	2110	1942	3031	2510	2169	3986	3215	2722	2335	4006	3339	2852	2470	4246	3587	3071	2690					
	3259	2640	2225	1961	1809	2897	2503	2220	2002	1860	2996	2649	2384	2175	2002	3157	2592	2227	4185	3336	2805	2393	4176	3451	2930	2526	4421	3706	3155	2752					
	3506	2792	2327	2038	1886	3046	2610	2301	2067	1925	3142	2760	2470	2245	2067	3296	2680	2289	4407	3468	2893	2454	4364	3573	3014	2585	4614	3834	3244	2817					
	3800	2964	2439	2121	1969	3212	2728	2390	2136	2000	3307	2882	2565	2321	2136	3451	2776	2354	4659	3613	2988	2519	4572	3704	3103	2648	4828	3973	3339	2886					
	4157	3160	2563	2211	2059	3399	2857	2485	2210	2073	3495	3017	2668	2402	2210	3624	2880	2425	4947	3772	3090	2588	4803	3847	3198	2714	5067	4125	3441	2960					
	4600	3388	2701	2310	2158	3610	2999	2590	2290	2156	3711	3168	2781	2491	2290	3819	2993	2500	5280	3948	3201	2661	5064	4003	3300	2784	5338	4291	3551	3037					
	5176	3655	2856	2419	2264	3852	3157	2703	2377	2242	3964	3340	2907	2588	2377	4041	3117	2581	5671	4145	3321	2739	5359	4174	3410	2858	5646	4473	3669	3120					
	5976	3976	3031	2539	2384	4130	3334	2828	2470	2337	4270	3537	3047	2694	2470	4297	3254	2668	6139	4365	3452	2822	5697	4362	3528	2937	6004	4676	3798	3208					
	7233	4371	3229	2673	2500	4455	3533	2966	2572	2437	4651	3768	3205	2811	2572	4598	3406	2763	6713	4616	3595	2912	6089	4571	3656	3021	6425	4903	3937	3303					
	9900	4878	3457	2822	2650	4841	3758	3118	2682	2542	5154	4043	3386	2942	2682	4957	3577	2865	7437	4903	3753	3008	6550	4805	3795	3111	6935	5159	4090	3404					
	37382	5582	3721	2989	2816	5311	4016	3288	2803	2682	5877	4383	3597	3089	2803	5398	3769	2978	8388	5237	3928	3112	7103	5068	3947	3207	7573	5452	4258	3514					
	6752	4031	3179	5899	4313	3478	2937	7106	4824	3847	3257	19035	5958	3990	3101	9712	5630	4123	3224	7779	5367	4113	3311	8415	5791	4445	3632								

Tabla 3. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada: tren de tipo Lambda (P400) para distintos porcentajes de peso freno

C.5. TABLA 4. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO PARA REDUCCIÓN DESDE UNA VELOCIDAD INICIAL A UNA FINAL: TREN DE TIPO LAMBDA (P400)

Velocidad final (v_{fin}) (km/h)		Velocidad inicial (v_0) = 200 km/h, $\lambda = 140$ %																		
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
35		1938	1928	1912	1890	1861	1825	1783	1735	1680	1619	1552	1478	1397	1310	1200	1076	931	777	612
30		2016	2006	1989	1966	1936	1899	1856	1806	1749	1686	1616	1539	1455	1365	1250	1121	969	807	633
25		2102	2092	2074	2050	2019	1981	1936	1884	1825	1759	1686	1607	1520	1426	1306	1170	1010	839	656
20		2197	2186	2168	2143	2111	2071	2024	1970	1909	1840	1765	1682	1592	1494	1368	1226	1056	876	682
15		2302	2291	2272	2246	2212	2171	2122	2066	2002	1931	1852	1766	1672	1570	1438	1288	1108	917	711
10		2420	2408	2388	2361	2326	2283	2232	2173	2106	2032	1950	1860	1762	1656	1516	1358	1166	963	743
5		2551	2539	2519	2490	2453	2408	2355	2294	2224	2146	2060	1966	1864	1753	1605	1438	1233	1016	781
0		2701	2688	2666	2636	2598	2550	2495	2430	2358	2276	2186	2088	1980	1865	1708	1530	1310	1077	824
-5		2896	2882	2859	2828	2787	2737	2678	2610	2533	2447	2352	2248	2135	2011	1843	1651	1412	1157	881
-10		3124	3110	3086	3052	3009	2956	2894	2822	2740	2649	2548	2438	2318	2187	2006	1798	1534	1255	949
-15		3397	3382	3357	3321	3275	3219	3152	3076	2989	2892	2785	2667	2540	2401	2204	1977	1684	1374	1034
-20		3732	3715	3688	3650	3601	3541	3470	3388	3295	3192	3077	2952	2816	2667	2452	2202	1873	1524	1140
-25		4150	4133	4104	4063	4010	3946	3870	3782	3682	3571	3448	3314	3168	3008	2772	2493	2118	1719	1278
-30		4693	4674	4643	4599	4542	4473	4390	4296	4189	4069	3936	3791	3633	3461	3198	2885	2447	1983	1464
-35		5431	5410	5376	5328	5266	5191	5102	4999	4883	4753	4609	4451	4280	4092	3796	3438	2913	2357	1729

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P400)

Velocidad final (v_{fin}) (km/h)		Velocidad inicial (v_0) = 180 km/h; $\lambda = 125\%$																
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
DECLIVIDAD (%)	35	1649	1639	1622	1598	1567	1529	1484	1432	1374	1308	1236	1156	1070	964	843	710	553
	30	1718	1708	1690	1665	1632	1593	1546	1493	1432	1364	1288	1206	1116	1005	879	738	573
	25	1794	1783	1764	1738	1705	1664	1615	1559	1496	1425	1347	1261	1168	1051	918	770	596
	20	1879	1867	1847	1820	1785	1742	1692	1633	1567	1493	1412	1322	1225	1102	962	806	621
	15	1972	1960	1940	1911	1875	1830	1777	1716	1647	1570	1484	1391	1289	1160	1012	847	649
	10	2078	2065	2043	2014	1975	1929	1873	1809	1737	1656	1567	1469	1362	1226	1069	894	682
	0	2332	2318	2294	2261	2219	2167	2106	2036	1956	1867	1768	1660	1542	1388	1211	1010	763
	-5	2510	2495	2470	2435	2390	2335	2270	2196	2111	2016	1911	1796	1671	1506	1313	1095	823
	-10	2723	2707	2680	2643	2595	2536	2467	2387	2297	2196	2084	1962	1828	1649	1439	1200	896
	-15	2981	2964	2936	2896	2845	2782	2708	2622	2525	2417	2297	2166	2023	1827	1597	1332	989
	-20	3304	3285	3255	3212	3156	3089	3009	2917	2813	2696	2567	2426	2272	2056	1800	1504	1110
	-25	3719	3699	3665	3619	3559	3486	3400	3300	3187	3061	2921	2768	2602	2361	2073	1738	1275
-30	4278	4256	4220	4169	4104	4024	3930	3821	3698	3560	3408	3242	3060	2788	2460	2072	1511	
-35	5084	5060	5020	4964	4892	4805	4701	4582	4446	4295	4128	3945	3745	3432	3050	2590	1878	

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P400)

Velocidad inicial (v_0) = 160 km/h, $\lambda = 110$ %																
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
35	1386	1383	1372	1353	1327	1293	1252	1203	1147	1083	1012	933	847	745	622	490
30	1445	1442	1430	1411	1384	1348	1305	1254	1196	1129	1055	973	883	776	647	508
25	1511	1507	1495	1475	1446	1409	1364	1311	1250	1180	1102	1017	922	810	674	527
20	1583	1580	1567	1546	1516	1477	1430	1374	1310	1237	1156	1066	967	849	705	549
15	1664	1661	1647	1625	1593	1553	1503	1445	1377	1301	1215	1121	1017	893	739	574
10	1755	1751	1737	1714	1680	1638	1586	1524	1453	1373	1283	1183	1075	943	779	603
5	1858	1854	1839	1814	1779	1734	1679	1614	1540	1455	1360	1255	1140	1000	824	635
0	1976	1972	1956	1929	1892	1845	1787	1718	1639	1549	1448	1337	1216	1066	876	673
-5	2135	2130	2114	2085	2046	1995	1932	1859	1774	1678	1570	1451	1321	1159	952	729
-10	2326	2322	2303	2273	2230	2176	2109	2029	1938	1835	1719	1591	1451	1274	1045	798
-15	2562	2557	2537	2504	2458	2399	2326	2240	2142	2030	1904	1766	1615	1420	1163	888
-20	2859	2854	2832	2797	2746	2682	2603	2509	2402	2280	2143	1993	1827	1611	1320	1008
-25	3250	3245	3221	3181	3126	3055	2969	2866	2748	2614	2464	2298	2117	1873	1537	1176
-30	3794	3787	3761	3717	3656	3578	3481	3368	3237	3088	2922	2738	2537	2257	1859	1432
-35	4622	4615	4585	4536	4467	4379	4271	4144	3996	3830	3643	3437	3212	2882	2394	1871

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P400)

Velocidad final (v_{fin}) (km/h)		Velocidad inicial (v_0) = 140 km/h; $\lambda = 95\%$													
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
35		1147	1144	1131	1111	1082	1045	1000	946	884	814	736	650	555	431
30		1199	1196	1183	1161	1131	1092	1045	989	924	851	769	678	579	447
25		1257	1253	1240	1217	1185	1144	1095	1036	968	891	805	710	606	466
20		1321	1318	1303	1279	1246	1203	1151	1089	1017	936	846	746	636	487
15		1394	1390	1375	1350	1315	1269	1214	1149	1073	987	892	786	671	511
10		1476	1472	1456	1430	1392	1344	1286	1216	1137	1046	945	833	711	539
5		1571	1566	1549	1521	1481	1430	1368	1295	1210	1113	1006	887	757	571
0		1680	1675	1657	1627	1584	1530	1464	1385	1295	1192	1077	950	812	609
-5		1825	1820	1801	1768	1722	1663	1592	1507	1409	1298	1173	1036	887	661
-10		2002	1997	1975	1940	1890	1826	1748	1655	1549	1428	1293	1143	981	726
-15		2222	2217	2193	2154	2100	2029	1944	1842	1725	1592	1444	1280	1102	810
-20		2505	2499	2473	2430	2369	2291	2196	2084	1954	1807	1643	1462	1264	923
-25		2884	2877	2848	2799	2731	2644	2538	2412	2266	2102	1918	1714	1493	1082
-30		3421	3413	3380	3325	3248	3149	3028	2884	2719	2532	2322	2091	1840	1323
-35		4260	4251	4212	4149	4059	3944	3804	3638	3446	3229	2986	2718	2427	1731

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P400)

Velocidad inicial (v_0) = 120 km/hr, $\lambda = 80$ %												
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
35	916	913	899	876	844	803	753	694	625	548	461	365
30	958	955	940	916	883	840	787	724	652	571	479	379
25	1006	1002	987	961	926	880	824	758	682	596	500	393
20	1058	1054	1038	1011	974	926	866	797	716	625	523	410
15	1118	1114	1097	1068	1028	977	914	840	754	657	548	428
10	1186	1181	1163	1132	1090	1035	968	888	797	693	578	450
5	1263	1258	1239	1206	1160	1101	1030	945	847	735	611	474
0	1353	1348	1327	1291	1242	1179	1101	1010	904	784	650	502
-5	1480	1474	1451	1412	1358	1289	1204	1103	988	856	709	547
-10	1637	1630	1605	1562	1502	1425	1331	1220	1092	947	784	605
-15	1836	1829	1801	1753	1686	1600	1494	1370	1227	1064	882	681
-20	2100	2092	2059	2005	1929	1831	1711	1570	1407	1223	1016	788
-25	2467	2457	2420	2357	2269	2156	2018	1854	1666	1452	1214	950
-30	3026	3015	2970	2896	2791	2657	2494	2300	2077	1823	1540	1227
-35	4056	4042	3987	3896	3768	3603	3402	3164	2890	2579	2231	1847

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P400)

Velocidad inicial (v_0) = 100 km/h; $\lambda = 65 \%$											
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
DECLIVIDAD (%)	35	719	715	700	674	638	592	536	470	393	306
	30	756	752	735	708	670	622	562	492	410	318
	25	797	793	776	747	706	655	591	516	430	332
	20	844	840	821	791	747	692	624	544	452	348
	15	899	894	874	841	795	735	663	577	478	365
	10	961	956	934	899	849	785	707	614	507	386
	5	1035	1029	1006	967	913	843	758	658	542	410
	0	1122	1115	1090	1048	988	912	819	710	583	439
	-5	1242	1235	1207	1160	1094	1009	905	782	640	479
	-10	1397	1389	1357	1303	1228	1132	1014	875	714	532
	-15	1601	1591	1554	1492	1406	1295	1159	998	813	603
	-20	1880	1869	1825	1752	1650	1519	1358	1168	949	701
	-25	2289	2276	2222	2133	2008	1847	1650	1418	1150	847
	-30	2944	2927	2858	2743	2582	2375	2123	1824	1479	1089
-35	4172	4147	4051	3890	3665	3375	3021	2602	2119	1572	

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P,400)

Velocidad inicial (v_0) = 80 km/h; $\lambda = 55 \%$									
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)	5	10	20	30	40	50	60	70	
DECLIVIDAD (%)	35	516	512	496	468	429	379	318	245
	30	545	540	523	493	452	398	333	256
	25	577	573	553	522	477	420	351	268
	20	615	609	589	555	507	446	371	282
	15	658	652	630	594	542	476	395	299
	10	709	703	679	639	583	511	422	318
	5	770	764	737	693	632	552	455	341
	0	844	837	808	759	691	603	496	369
	-5	950	942	908	853	775	675	553	409
	-10	1089	1080	1041	977	886	770	629	461
	-15	1282	1270	1224	1148	1040	902	733	534
	-20	1566	1552	1495	1400	1267	1096	887	641
	-25	2025	2007	1932	1808	1634	1410	1137	814
	-30	2898	2871	2763	2583	2331	2007	1611	1143
-35	5190	5141	4946	4619	4162	3574	2855	2006	

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P,400)

Velocidad inicial (v_0) = 60 km/h; $\lambda = 45$ %							
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)		5	10	20	30	40	50
DECLIVIDAD (%)	35	335	330	312	281	239	184
	30	354	349	330	297	252	193
	25	377	372	351	316	266	203
	20	404	398	375	337	284	215
	15	436	429	404	363	304	229
	10	474	467	439	393	329	246
	5	520	513	482	431	359	267
	0	579	570	536	478	397	294
	-5	666	656	615	548	454	333
	-10	788	776	727	646	533	388
	-15	971	956	895	794	652	470
	-20	1278	1258	1177	1041	852	608
	-25	1898	1867	1745	1540	1255	887
	-30	3801	3739	3489	3074	2492	1744
	-35	-	-	-	-	-	-

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P,400)

Velocidad inicial (v_0) = 40 km/h; $\lambda = 45$ %					
Velocidad final (v_{fin}) (km/h)		5	10	20	30
DECLIVIDAD (%)	35	173	168	150	120
	30	183	178	158	125
	25	194	189	167	132
	20	207	201	178	140
	15	222	216	191	150
	10	241	234	207	161
	5	264	256	226	175
	0	293	284	250	192
	-5	335	325	285	218
	-10	395	383	335	254
	-15	485	470	409	308
	-20	636	616	535	399
	-25	940	910	787	583
	-30	1875	1812	1563	1147
	-35	-	-	-	-

Tabla 4. Distancias de frenado de servicio para reducción desde una velocidad inicial a una final: tren de tipo Lambda (P,400)

C.6 TABLA 5. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA DE UN TREN TIPO (P,400) CON $\lambda = 50\%$, CIRCULANDO A DISTINTAS VELOCIDADES

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80
λ (%)		50%					
DECLIVIDAD (%)	35	107	166	237	320	414	520
	34	108	168	240	323	419	526
	33	109	169	242	327	423	532
	32	110	171	245	330	428	538
	31	111	173	247	334	433	544
	30	112	175	250	338	438	550
	29	113	177	253	341	443	557
	28	114	179	256	345	448	563
	27	116	181	258	349	453	570
	26	117	183	261	354	459	577
	25	118	185	265	358	464	584
	24	119	187	268	362	470	592
	23	121	189	271	367	476	600
	22	122	191	274	372	483	608
	21	124	194	278	376	489	616
	20	125	196	282	381	496	624
	19	127	199	285	387	502	633
	18	128	201	289	392	509	642
	17	130	204	293	397	517	651
	16	132	207	297	403	524	661
15	134	210	302	409	532	671	
14	135	213	306	415	540	681	
13	137	216	311	421	549	692	
12	139	219	315	428	557	703	
11	141	222	320	435	566	714	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80
λ (%)		50%					
DECLIVIDAD (‰)	10	143	226	325	442	576	726
	9	146	229	331	449	585	739
	8	148	233	336	457	595	752
	7	150	237	342	465	606	765
	6	153	241	348	473	617	779
	5	155	245	354	482	628	794
	4	158	250	360	491	640	809
	3	161	254	367	500	652	824
	2	164	259	374	510	665	841
	1	167	264	382	520	679	858
	0	170	269	389	531	693	876
	-1	174	275	398	543	710	898
	-2	178	282	408	557	727	920
	-3	182	289	418	571	746	944
	-4	187	296	429	586	766	970
	-5	192	304	441	602	787	996
	-6	197	312	453	618	809	1025
	-7	202	321	466	636	833	1055
	-8	208	330	480	656	858	1088
	-9	214	340	494	676	885	1122
	-10	221	351	510	698	914	1159
	-11	228	363	527	722	946	1199
	-12	236	375	546	747	979	1242
	-13	244	389	565	774	1015	1288
	-14	253	403	587	804	1055	1339
-15	263	419	610	836	1097	1393	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80
λ (%)		50%					
DECLIVIDAD (%)	-16	273	436	636	871	1144	1453
	-17	285	455	663	910	1195	1518
	-18	298	476	694	952	1251	1590
	-19	312	499	728	999	1313	1669
	-20	328	524	766	1052	1382	1757
	-21	345	553	808	1110	1459	1856
	-22	365	585	855	1175	1546	1967
	-23	387	621	909	1250	1644	2092
	-24	413	663	970	1335	1756	2236
	-25	443	711	1041	1433	1886	2401
	-26	477	767	1123	1547	2037	2595
	-27	518	833	1221	1682	2216	2823
	-28	567	912	1338	1844	2431	3098
	-29	627	1010	1482	2043	2693	3433
	-30	702	1131	1661	2291	3022	3853
	-31	798	1287	1891	2610	3444	4392
	-32	927	1496	2199	3036	4007	5112
	-33	1107	1788	2630	3633	4797	6121
-34	1378	2227	3277	4529	5982	7637	
-35	1830	2960	4359	6027	7963	10169	

NOTA: La columna amarilla coincide con la correspondiente de la tabla 2.

**C.7 TABLA 6. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA DE UN TREN TIPO (P400)
CON $\lambda = 65\%$, CIRCULANDO A DISTINTAS VELOCIDADES**

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110
λ (%)		65%								
DECLIVIDAD (%)	35	102	158	223	299	385	481	588	704	833
	34	103	159	225	302	388	486	593	711	841
	33	104	160	227	304	392	490	599	718	850
	32	105	162	229	307	396	495	605	725	859
	31	106	163	231	310	400	500	611	732	867
	30	107	165	234	313	404	505	617	740	877
	29	108	166	236	316	408	510	623	748	886
	28	109	168	238	319	412	515	630	756	895
	27	110	169	240	323	416	521	637	764	905
	26	111	171	243	326	420	526	643	772	915
	25	112	173	245	329	425	532	650	780	926
	24	113	175	248	333	429	538	658	789	936
	23	114	176	250	336	434	544	665	798	947
	22	115	178	253	340	439	550	672	807	958
	21	116	180	256	344	444	556	680	817	970
	20	118	182	259	348	449	562	688	826	982
	19	119	184	261	351	454	569	696	836	994
	18	120	186	264	356	459	576	705	846	1006
	17	121	188	267	360	465	583	713	857	1019
	16	123	190	271	364	470	590	722	868	1032
15	124	192	274	368	476	597	732	879	1046	
14	126	195	277	373	482	605	741	890	1060	
13	127	197	281	378	488	613	751	902	1074	
12	129	199	284	383	495	621	761	914	1089	
11	130	202	288	387	501	629	771	927	1105	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110
λ (%)		65%								
DECLIVIDAD (‰)	10	132	204	291	393	508	638	782	940	1120
	9	133	207	295	398	515	647	793	953	1137
	8	135	210	299	403	522	656	804	967	1154
	7	137	213	303	409	530	665	816	981	1171
	6	139	216	308	415	537	675	828	996	1189
	5	141	219	312	421	545	685	840	1011	1208
	4	143	222	317	427	554	696	853	1027	1227
	3	145	225	321	434	562	706	867	1043	1248
	2	147	228	326	440	571	718	881	1060	1268
	1	149	232	331	447	580	729	895	1078	1290
	0	151	235	337	455	590	741	910	1096	1312
	-1	154	240	343	463	601	756	928	1117	1339
	-2	157	244	349	472	612	770	946	1139	1366
	-3	160	249	356	481	624	786	965	1163	1395
	-4	163	254	363	491	637	802	985	1187	1425
	-5	166	259	370	501	651	819	1006	1213	1457
	-6	169	264	378	512	664	837	1028	1240	1490
	-7	173	270	386	523	679	855	1051	1268	1525
	-8	176	275	395	534	694	875	1076	1298	1562
	-9	180	282	404	547	711	895	1101	1330	1601
	-10	184	288	413	560	728	917	1128	1363	1641
-11	189	295	423	573	746	940	1156	1398	1685	
-12	193	302	434	588	765	964	1186	1435	1730	
-13	198	310	445	603	785	990	1218	1474	1779	
-14	203	318	457	619	806	1017	1252	1516	1830	
-15	208	326	469	637	829	1046	1287	1560	1885	
-16	214	336	482	655	853	1076	1325	1607	1943	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110
λ (%)		65%								
DECLIVIDAD (‰)	-17	220	345	497	674	878	1109	1366	1657	2006
	-18	227	356	512	695	906	1144	1409	1711	2073
	-19	234	367	528	717	935	1181	1455	1769	2144
	-20	241	379	545	741	967	1221	1504	1831	2221
	-21	249	392	564	767	1000	1264	1558	1897	2305
	-22	258	406	584	795	1037	1310	1615	1969	2395
	-23	268	421	606	825	1076	1360	1677	2047	2493
	-24	278	437	630	857	1119	1415	1745	2132	2600
	-25	289	455	656	893	1166	1474	1818	2225	2717
	-26	301	474	684	932	1217	1539	1899	2327	2846
	-27	314	495	715	974	1273	1610	1987	2439	2989
	-28	329	519	749	1021	1334	1689	2084	2563	3147
	-29	346	545	787	1073	1403	1776	2192	2701	3324
	-30	364	574	829	1131	1479	1873	2312	2856	3523
	-31	384	606	877	1196	1564	1981	2447	3031	3748
	-32	407	643	930	1270	1661	2104	2599	3229	4007
	-33	433	685	991	1353	1771	2244	2772	3457	4306
-34	464	733	1061	1449	1897	2404	2971	3721	4655	
-35	499	788	1142	1561	2044	2591	3202	4031	5071	

NOTA: La columna amarilla coincide con la correspondiente de la tabla 2.

**C.8 TABLA 7. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA DE UN TREN TIPO (P400)
CON $\lambda = 118\%$, CIRCULANDO A DISTINTAS VELOCIDADES**

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
λ (%)		118%														
DECLIVIDAD (‰)	35	93	139	193	253	321	396	478	567	664	767	878	1006	1152	1308	1483
	34	94	140	194	255	323	399	481	571	668	773	884	1013	1160	1318	1495
	33	94	141	195	257	325	401	484	575	673	778	890	1020	1169	1329	1507
	32	95	142	196	258	327	404	488	579	677	783	896	1028	1178	1339	1519
	31	95	143	198	260	329	406	491	583	682	788	902	1035	1187	1350	1532
	30	96	144	199	261	332	409	494	587	687	794	909	1043	1196	1360	1545
	29	97	145	200	263	334	412	498	591	691	800	915	1051	1205	1372	1558
	28	97	146	201	265	336	415	501	595	696	805	922	1059	1215	1383	1572
	27	98	146	203	267	338	418	504	599	701	811	928	1067	1225	1394	1586
	26	98	147	204	268	341	420	508	603	706	817	935	1076	1235	1406	1600
	25	99	148	205	270	343	423	512	608	711	823	942	1084	1245	1418	1614
	24	100	149	207	272	345	426	515	612	716	829	949	1093	1255	1430	1629
	23	100	150	208	274	348	429	519	616	722	835	956	1102	1265	1442	1644
	22	101	151	210	276	350	432	523	621	727	841	964	1111	1276	1455	1659
	21	102	152	211	278	353	436	527	626	733	848	971	1120	1287	1468	1674
	20	102	153	213	280	355	439	530	630	738	854	978	1129	1298	1481	1690
	19	103	155	214	282	358	442	534	635	744	861	986	1139	1309	1495	1707
	18	104	156	216	284	361	445	539	640	750	868	994	1149	1321	1508	1723
	17	105	157	217	286	363	449	543	645	756	874	1002	1159	1333	1522	1740
	16	105	158	219	288	366	452	547	650	762	881	1010	1169	1345	1537	1758
15	106	159	220	290	369	456	551	655	768	889	1018	1179	1357	1551	1775	
14	107	160	222	293	372	459	556	660	774	896	1027	1190	1370	1566	1794	
13	108	161	224	295	375	463	560	666	780	903	1035	1201	1383	1581	1812	
12	109	163	226	297	378	467	565	671	787	911	1044	1212	1396	1597	1831	
11	109	164	227	300	381	470	569	677	793	919	1053	1223	1409	1613	1851	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
λ (%)		118%														
DECLIVIDAD (‰)	10	110	165	229	302	384	474	574	682	800	926	1062	1234	1423	1629	1871
	9	111	167	231	304	387	478	579	688	807	934	1071	1246	1437	1646	1892
	8	112	168	233	307	390	482	584	694	814	943	1080	1258	1451	1663	1913
	7	113	169	235	309	393	486	589	700	821	951	1090	1271	1466	1681	1934
	6	114	171	237	312	397	491	594	706	828	959	1100	1283	1481	1699	1957
	5	115	172	239	315	400	495	599	713	836	968	1110	1296	1496	1717	1979
	4	116	173	241	317	404	499	604	719	843	977	1120	1309	1512	1736	2003
	3	117	175	243	320	407	504	610	726	851	986	1131	1323	1528	1755	2027
	2	118	176	245	323	411	508	615	732	859	995	1141	1336	1545	1775	2052
	1	119	178	247	326	414	513	621	739	867	1005	1152	1351	1562	1796	2077
	0	120	180	249	329	418	518	627	746	875	1014	1164	1365	1579	1817	2103
	-1	121	181	252	332	423	523	634	754	885	1026	1178	1382	1599	1841	2134
	-2	122	183	254	336	427	529	641	763	895	1037	1192	1399	1620	1867	2165
	-3	123	185	257	339	432	535	648	771	905	1049	1206	1417	1642	1893	2198
	-4	125	187	260	343	436	540	655	780	915	1061	1221	1435	1664	1921	2231
	-5	126	189	263	347	441	547	662	789	926	1073	1236	1454	1687	1949	2266
	-6	127	191	265	351	446	553	670	798	936	1086	1252	1473	1710	1978	2302
	-7	129	193	268	355	451	559	678	807	948	1099	1268	1493	1735	2008	2339
	-8	130	195	271	359	457	566	686	817	959	1112	1284	1514	1760	2040	2378
	-9	132	198	275	363	462	573	694	827	971	1126	1301	1535	1786	2072	2419
	-10	133	200	278	367	468	579	703	837	983	1140	1319	1557	1813	2106	2460
-11	135	202	281	372	473	587	711	848	995	1154	1337	1579	1840	2141	2504	
-12	137	205	285	376	479	594	720	858	1008	1169	1356	1603	1869	2177	2549	
-13	138	207	288	381	485	602	730	870	1021	1185	1375	1627	1899	2215	2597	
-14	140	210	292	386	492	609	739	881	1035	1201	1395	1652	1930	2254	2646	
-15	142	212	295	391	498	617	749	893	1049	1217	1416	1678	1962	2295	2698	
-16	143	215	299	396	505	626	759	905	1063	1234	1437	1705	1995	2337	2752	

VELOCIDAD (km/h)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
λ (%)		118%														
DECLIVIDAD (%)	-17	145	218	303	401	511	634	770	918	1078	1251	1459	1733	2030	2382	2808
	-18	147	221	307	407	518	643	780	931	1094	1269	1482	1762	2066	2428	2867
	-19	149	224	312	412	526	652	792	944	1109	1288	1506	1792	2103	2477	2929
	-20	151	227	316	418	533	662	803	958	1126	1307	1530	1823	2142	2528	2995
	-21	153	230	320	424	541	671	815	972	1143	1327	1556	1855	2183	2581	3064
	-22	156	234	325	430	549	681	827	987	1160	1347	1582	1889	2226	2637	3136
	-23	158	237	330	437	557	692	840	1002	1178	1368	1610	1924	2270	2696	3213
	-24	160	241	335	443	566	703	853	1018	1197	1390	1639	1961	2316	2758	3294
	-25	163	244	340	450	575	714	867	1034	1216	1413	1668	1999	2365	2824	3380
	-26	165	248	345	457	584	725	881	1051	1236	1436	1700	2039	2416	2893	3471
	-27	168	252	351	465	594	737	896	1069	1257	1460	1732	2081	2470	2966	3568
	-28	171	256	357	473	604	750	911	1087	1279	1486	1766	2125	2526	3044	3673
	-29	174	260	363	481	614	763	927	1106	1301	1512	1801	2171	2585	3127	3784
	-30	176	265	369	489	625	776	943	1126	1325	1539	1838	2220	2648	3215	3904
	-31	180	269	375	498	636	790	960	1147	1349	1567	1877	2271	2714	3310	4033
	-32	183	274	382	507	647	804	978	1168	1374	1597	1918	2324	2784	3412	4173
-33	186	279	389	516	659	820	996	1190	1401	1628	1961	2381	2858	3521	4325	
-34	189	284	397	526	672	835	1016	1213	1428	1660	2006	2441	2937	3640	4491	
-35	193	290	404	536	685	852	1036	1238	1457	1693	2053	2504	3022	3768	4674	

NOTA: La columna amarilla coincide con la correspondiente de la tabla 2.

C.9 TABLA 8. DISTANCIAS DE FRENADO DE SERVICIO HASTA PARADA DE UN TREN TIPO (P400) CON $\lambda = 151\%$, CIRCULANDO A DISTINTAS VELOCIDADES

VELOCIDAD (km/h)	151%																		
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
35	91	135	186	243	306	376	452	535	624	720	822	930	1045	1180	1331	1498	1674	1860	
34	91	136	187	244	308	378	455	538	628	724	827	936	1052	1188	1340	1508	1686	1874	
33	92	136	188	245	309	380	457	541	631	728	832	942	1059	1196	1350	1519	1698	1888	
32	92	137	189	247	311	382	460	544	635	733	837	947	1065	1203	1359	1530	1711	1902	
31	93	138	190	248	313	385	463	548	639	737	842	953	1072	1211	1369	1541	1724	1917	
30	93	139	191	249	315	387	466	551	643	742	847	959	1079	1220	1378	1552	1737	1932	
29	94	140	192	251	317	389	468	554	647	746	852	965	1086	1228	1388	1563	1750	1947	
28	95	140	193	252	319	391	471	558	651	751	858	971	1093	1236	1398	1575	1763	1962	
27	95	141	194	254	320	394	474	561	655	756	863	978	1101	1245	1408	1587	1777	1978	
26	96	142	195	255	322	396	477	565	659	761	869	984	1108	1253	1419	1599	1791	1993	
25	96	143	196	257	324	399	480	568	663	765	874	990	1116	1262	1429	1611	1805	2010	
24	97	144	198	258	326	401	483	572	668	770	880	997	1123	1271	1440	1624	1819	2026	
23	97	145	199	260	328	404	486	576	672	775	886	1004	1131	1280	1451	1636	1834	2043	
22	98	145	200	262	330	406	489	579	676	781	892	1010	1139	1290	1462	1649	1849	2060	
21	99	146	201	263	332	409	492	583	681	786	898	1017	1147	1299	1473	1663	1864	2077	
20	99	147	202	265	335	411	496	587	685	791	904	1024	1155	1308	1485	1676	1880	2095	
19	100	148	204	267	337	414	499	591	690	796	910	1031	1163	1318	1497	1690	1896	2113	
18	100	149	205	268	339	417	502	595	695	802	917	1038	1172	1328	1508	1704	1912	2132	

Tabla 8. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	151%																		
17	101	150	206	270	341	420	506	599	699	807	923	1046	1180	1338	1521	1718	1928	2151	
16	102	151	208	272	343	422	509	603	704	813	929	1053	1189	1348	1533	1732	1945	2170	
15	102	152	209	274	346	425	512	607	709	819	936	1061	1198	1359	1546	1747	1962	2189	
14	103	153	210	275	348	428	516	611	714	825	943	1068	1207	1369	1559	1762	1980	2209	
13	104	154	212	277	350	431	520	616	719	831	950	1076	1216	1380	1572	1777	1998	2230	
12	104	155	213	279	353	434	523	620	725	837	957	1084	1225	1391	1585	1793	2016	2251	
11	105	156	215	281	355	437	527	625	730	843	964	1092	1235	1403	1599	1809	2035	2272	
10	106	157	216	283	358	440	531	629	735	849	971	1100	1244	1414	1613	1825	2054	2294	
9	107	158	218	285	360	444	535	634	741	855	978	1109	1254	1426	1627	1842	2073	2316	
8	107	159	219	287	363	447	539	638	746	862	986	1117	1264	1437	1641	1859	2093	2339	
7	108	160	221	289	366	450	543	643	752	868	993	1126	1274	1450	1656	1876	2113	2362	
6	109	162	222	291	368	453	547	648	758	875	1001	1135	1285	1462	1671	1894	2134	2386	
5	110	163	224	293	371	457	551	653	763	882	1009	1144	1295	1474	1687	1912	2155	2410	
4	110	164	226	296	374	460	555	658	769	889	1017	1153	1306	1487	1702	1931	2177	2435	
3	111	165	227	298	377	464	559	663	775	896	1025	1162	1317	1500	1718	1950	2199	2461	
2	112	166	229	300	380	467	564	668	782	903	1033	1171	1328	1514	1735	1969	2222	2487	
1	113	168	231	302	382	471	568	674	788	910	1042	1181	1340	1527	1752	1989	2245	2514	
0	114	169	232	305	385	475	573	679	794	918	1050	1191	1351	1541	1769	2009	2269	2541	

Tabla 8. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	151%																		
-1	115	170	234	307	389	479	578	685	802	927	1060	1202	1365	1558	1789	2033	2296	2573	
-2	116	172	237	310	392	483	583	692	809	935	1070	1214	1379	1574	1809	2057	2325	2606	
-3	117	173	239	313	396	488	589	698	817	944	1081	1226	1393	1592	1830	2082	2354	2639	
-4	118	175	241	316	400	493	594	705	825	953	1091	1238	1408	1610	1851	2107	2384	2674	
-5	119	176	243	319	403	497	600	712	833	963	1102	1250	1423	1628	1874	2133	2414	2709	
-6	120	178	245	322	407	502	606	719	841	972	1113	1263	1438	1646	1896	2160	2446	2746	
-7	121	180	248	325	411	507	612	726	850	982	1124	1276	1454	1666	1919	2188	2479	2784	
-8	122	181	250	328	415	512	618	733	858	992	1136	1289	1470	1685	1943	2217	2513	2823	
-9	124	183	252	331	419	517	624	741	867	1003	1148	1302	1486	1706	1968	2246	2547	2863	
-10	125	185	255	334	424	522	631	749	876	1013	1160	1316	1503	1726	1993	2277	2583	2905	
-11	126	187	258	338	428	528	637	756	885	1024	1172	1330	1521	1748	2020	2308	2620	2948	
-12	127	189	260	341	432	533	644	764	895	1035	1185	1345	1538	1770	2047	2340	2658	2992	
-13	129	191	263	345	437	539	651	773	905	1046	1198	1360	1557	1793	2074	2374	2698	3038	
-14	130	193	266	349	442	545	658	781	915	1058	1212	1375	1575	1816	2103	2408	2739	3086	
-15	131	195	268	352	446	551	665	790	925	1070	1225	1391	1595	1840	2132	2444	2781	3135	
-16	133	197	271	356	451	557	673	799	935	1082	1239	1407	1615	1865	2163	2481	2825	3186	
-17	134	199	274	360	456	563	680	808	946	1095	1254	1423	1635	1890	2194	2519	2870	3239	
-18	136	201	277	364	461	569	688	817	957	1108	1269	1440	1656	1917	2227	2559	2917	3294	

Tabla 8. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades

VELOCIDAD (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	
λ (%)	151%																		
-19	137	203	280	368	467	576	696	827	968	1121	1284	1458	1678	1944	2261	2600	2966	3351	
-20	139	206	284	372	472	583	704	837	980	1134	1299	1475	1700	1972	2296	2642	3017	3410	
-21	140	208	287	377	478	590	713	847	992	1148	1316	1494	1723	2001	2332	2686	3070	3472	
-22	142	211	290	381	483	597	722	857	1004	1163	1332	1513	1746	2031	2369	2732	3125	3536	
-23	144	213	294	386	489	604	730	868	1017	1177	1349	1532	1771	2063	2408	2780	3182	3603	
-24	145	216	297	391	495	612	740	879	1030	1193	1367	1552	1796	2095	2449	2829	3241	3673	
-25	147	218	301	396	502	620	749	890	1043	1208	1384	1573	1822	2128	2491	2881	3303	3747	
-26	149	221	305	401	508	628	759	902	1057	1224	1403	1595	1849	2163	2534	2935	3368	3823	
-27	151	224	309	406	515	636	769	914	1071	1241	1422	1617	1876	2199	2580	2991	3436	3903	
-28	153	227	313	411	522	644	779	927	1086	1258	1442	1640	1905	2236	2627	3050	3507	3987	
-29	155	230	317	417	529	653	790	939	1101	1275	1462	1664	1934	2275	2676	3112	3582	4076	
-30	157	233	321	422	536	662	801	953	1117	1294	1483	1689	1965	2316	2728	3176	3660	4168	
-31	159	236	326	428	543	672	813	966	1133	1312	1504	1715	1997	2358	2782	3244	3742	4266	
-32	161	239	330	434	551	681	824	980	1149	1332	1527	1741	2030	2402	2838	3314	3829	4369	
-33	164	243	335	440	559	691	836	995	1167	1352	1550	1768	2064	2448	2897	3389	3920	4478	
-34	166	246	340	447	567	701	849	1010	1184	1372	1574	1797	2099	2496	2959	3468	4017	4593	
-35	169	250	345	454	576	712	862	1025	1203	1394	1598	1826	2136	2546	3025	3551	4119	4715	

Tabla 8. Distancias de Frenado de Servicio hasta parada de un tren tipo (P,400) con $\lambda = 151\%$, circulando a distintas velocidades

CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE LA TABLA 3

D.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

La tabla 3 del anexo C de esta ET define para un tren Lambda (P,400), las distancias de FdS correspondientes a distintas velocidades y distintos porcentajes de peso freno.

Cuando un tren no disponga de suficiente λ para circular a su V_{max} (definida por las características del tren) por una línea o tramo de línea, la EF puede, a partir de dicha tabla, definir unas condiciones de circulación seguras de su tren, reduciendo su velocidad de circulación (V_c), solo en la cuantía necesaria.

Para el análisis de este escenario es necesario hacer las siguientes consideraciones:

1. A igualdad de velocidad de circulación (V_c) y régimen de frenado, la distancia de parada de un tren desde que el maquinista acciona el freno, depende de sus prestaciones de frenado (λ). Así, los trenes con mayor λ necesitan menos distancia para detenerse.
2. Normalmente, a mayor V_{max} del tren (definida por las características de sus vehículos), mayores prestaciones de frenado (λ).
3. La distancia entre señales es la longitud máxima de la que disponen todos los trenes que circulen por un tramo de línea para detenerse. A partir de esta distancia, de la declividad del tramo y de la velocidad máxima de este V_{infr} (definida por las características de la infraestructura), se puede calcular el λ mínimo para poder circular a dicha velocidad.
4. El tren crítico a efectos de distancias de frenado es aquel que dispone del λ mínimo para poder circular a su V_{max} (definida por las características de sus vehículos), cuando debe detenerse en un tramo de línea de velocidad máxima $V_{infr} = V_{max}$ del tren.
5. Un tren que circule por un tramo de línea donde la velocidad máxima de circulación $V_{infr} < V_{max}$ del tren, normalmente dispondrá de λ superiores a los del tren crítico, por lo que necesitará menor distancia de frenado para detenerse circulando a la velocidad máxima del tramo V_{infr} (ver ejemplos 1 y 2).

Ejemplo 1: Distancias de FdS hasta parada, en horizontal, de cinco trenes (P,400) de V_{max} entre 100 y 120 km/h, con λ entre 65 % y 90 %, circulando por un tramo de línea de velocidad máxima $V_{infr} = 100$ km/h:

V_{max} del tramo por características de la línea, $V_{infr} = 100$ km/h	
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 120 km/h	$\lambda_p = 90$ % ; FdS = 885 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 115 km/h	$\lambda_p = 85$ % ; FdS = 918 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 110 km/h	$\lambda_p = 75$ % ; FdS = 997 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 105 km/h	$\lambda_p = 70$ % ; FdS = 1043 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 100 km/h	$\lambda_p = 65$ % ; FdS = 1096 m

Se observa que el tren crítico es aquel cuya $V_{max} = V_{infr} = 100$ km/h. Su distancia de frenado es la mayor (1096 m).

Ejemplo 2: Distancias de FdS hasta parada, en horizontal, de cinco trenes (P,400) de V_{max} entre 70 y 90 km/h, con λ entre 55 % y 65 %, circulando por un tramo de línea de velocidad máxima $V_{infr} = 70$ km/h:

V_{max} del tramo por características de la línea $V_{infr} = 70$ km/h	
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 90 km/h	$\lambda_p = 65\%$; FdS = 590 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 85 km/h	$\lambda_p = 65\%$; FdS = 590 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 80 km/h	$\lambda_p = 60\%$; FdS = 619 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 75 km/h	$\lambda_p = 60\%$; FdS = 619 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 70 km/h	$\lambda_p = 55\%$; FdS = 653 m

Se observa que el tren crítico es aquel que su $V_{max} = V_{infr} = 70$ km/h. Su distancia de frenado es la mayor (653 m).

- Un tren que circule por un tramo de línea donde la velocidad máxima de circulación $V_{infr} > V_{max}$ del tren, normalmente dispondrá de λ inferiores a los mínimos requeridos para poder circular a la velocidad máxima del tramo (V_{infr}). Sin embargo, como las distancias entre señales están diseñadas para circular a una velocidad superior, en general, estos trenes dispondrán de distancia de frenado suficiente (ver ejemplo 3).

Ejemplo 3: Distancias de FdS hasta parada, en horizontal, de cinco trenes (P,400) de V_{max} entre 80 y 160 km/h, circulando por un tramo de línea de velocidad máxima $V_{infr} = 160$ km/h, y con λ entre 60% y 120%:

V_{max} del tramo por características de la línea $V_{infr} = 160$ km/h	
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 80 km/h	$\lambda_p = 60\%$; FdS = 780 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 100 km/h	$\lambda_p = 65\%$; FdS = 1096 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 120 km/h	$\lambda_p = 90\%$; FdS = 1214 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 140 km/h	$\lambda_p = 120\%$; FdS = 1345 m
V_{max} del tren por características de sus vehículos = 160 km/h	$\lambda_p = 120\%$; FdS = 1790 m

Se observa que el tren crítico es aquel que su $V_{max} = V_{infr} = 160$ km/h. Su distancia de frenado es la mayor (1790 m).

- A la vista de los tres últimos puntos se observa que, en la mayoría de los casos, el problema se reduce a los trenes críticos con λ estricto para circular a su V_{max} cuando esta coincide con la velocidad máxima del tramo (V_{infr}).
- Cuando un tren no disponga de una capacidad de frenado suficiente para detenerse en las distancias disponibles, deberá disminuir su velocidad para poder circular.

D.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN

D.2.1 HIPÓTESIS DE PARTIDA

Se suponen las siguientes hipótesis de partida:

- Tren en régimen P de 400 m de longitud, formado por vehículos de $V_{max} = 100$ km/h, con $\lambda = 56\%$, circulando en tramos de velocidad máxima V_{infr} entre 80 y 160 km/h, con declividades inferiores a 22 ‰.
- El AI comunica que ha colocado las señales de su línea, de manera que, para que un tren pueda circular por ella sin restricciones ni análisis particulares, debe disponer de

los siguientes porcentajes de peso freno para cada velocidad, aplicables a trenes en régimen P de 400 m:

V_{infr} (km/h)	160	150	140	130	120	110	100	90	80
λ (%)	110	103	95	88	80	73	65	60	55

D.2.2 POSIBLES ESCENARIOS DE ACTUACIÓN

Para que el tren pueda circular a su $V_{max} = 100$ km/h en cualquier tramo de la línea cuya velocidad $V_{infr} \geq 100$ km/h, necesitaría un $\lambda = 65\%$. Al no disponer de él es necesario imponerle restricciones en su velocidad máxima de circulación (V_c). Existen distintas opciones de reducción de velocidad en función del grado de complejidad del análisis.

1. OPCIÓN A: Reducción válida para cualquier declividad.

Se trataría de reducir la velocidad de circulación (V_c) hasta que el λ disponible fuera igual o superior al necesario para ser admitido a tráfico a dicha velocidad en cualquier rango de declividades, independientemente de que éstas pudieran darse o no en el tramo.

Así pues:

λ requerido para circular a $V_c = 90$ km/h = 60 % > λ disponible por el tren = 56 %

λ requerido para circular a $V_c = 80$ km/h = 55 % < λ disponible por el tren = 56 %

En este caso, el tren analizado sufriría una limitación en sus condiciones de circulación que le impediría circular a $V_c > 80$ km/h en todo su recorrido.

Esta es la opción que se ha venido aplicando tradicionalmente y que permitiría al tren circular a esa velocidad en todo el rango de declividades. Sin embargo, es una opción demasiado simplista y radical, ya que supone una importante restricción de velocidad que solo estaría justificada en tramos con fuertes declividades. En el resto de casos, las restricciones de velocidad serían excesivas e innecesarias, lo que penalizaría la explotación, afectando tanto a la EF, como al AI.

OPCIÓN B: Reducción válida para las declividades y velocidad máxima específicas de cada tramo.

En este caso se trataría de reducir la velocidad V_c hasta que las distancias de FdS del tren, con su λ y dentro del rango de declividades reales del tramo, estuvieran por debajo de las distancias de FdS disponibles en cada tramo (función de la velocidad máxima del tramo (V_{infr}) y de su λ mínimo para circular por él a dicha velocidad). En resumen, la EF debe comparar las distancias de FdS a velocidades $V_c \leq V_{max}$ (tabla 3 con $V_c = 80, 90$ y 100 km/h y $\lambda = 55\%$ en los tres casos), con las correspondientes a la V_{infr} de cada tramo para sus respectivos λ mínimos definidos por el AI (tabla 2 con $V_{infr} = 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150$ y 160 km/h).

La comparación se muestra en la tabla siguiente:

V_{mfr} (km/h)	80	90	100	110	120	130	140	150	160
V_c (km/h)	80	90	100	80	90	100	80	90	100
λ (%)	55%	60%	55%	55%	55%	88%	55%	55%	55%
35	506	603	506	797	745	1002	1125	1239	1359
34	511	609	511	804	753	1011	1135	1250	1371
33	517	615	517	812	762	1020	1144	1260	1382
32	522	621	522	819	770	1029	1155	1271	1393
31	528	628	528	827	779	1038	1165	1282	1405
30	534	635	534	835	788	1048	1175	1293	1417
29	540	641	540	843	797	1057	1186	1305	1429
28	546	648	546	852	807	1067	1197	1316	1442
27	552	656	552	860	817	1078	1208	1328	1454
26	558	663	558	869	827	1088	1220	1340	1467
25	565	671	565	878	837	1099	1232	1353	1481
24	572	678	572	888	848	1110	1244	1365	1494
23	579	686	579	897	859	1121	1256	1378	1508
22	586	695	586	907	870	1132	1268	1391	1522
21	594	703	594	917	882	1144	1281	1405	1536
20	601	712	601	927	894	1156	1294	1419	1551
DECLIVIDAD (%)									

V_{mfr} (km/h)	80	90	80	90	100	80	90	100	110	80	90	100	120	80	90	100	130	80	90	100	140	80	90	100	150	80	90	100	160	
V_c (km/h)	80			80						80				80				80				80				80				
λ (%)	55%	60%	55%	55%	65%	55%	55%	55%	73%	55%	55%	55%	80%	55%	55%	55%	88%	55%	55%	55%	55%	95%	55%	55%	55%	103%	55%	55%	55%	110%
19	609	721	609	748	836	609	748	906	937	609	748	906	1046	609	748	906	1168	609	748	906	1308	609	748	906	1433	609	748	906	1566	
18	617	730	617	758	846	617	758	919	948	617	758	919	1058	617	758	919	1181	617	758	919	1322	617	758	919	1447	617	758	919	1582	
17	626	739	626	768	857	626	768	933	959	626	768	933	1069	626	768	933	1194	626	768	933	1336	626	768	933	1462	626	768	933	1597	
16	635	749	635	779	868	635	779	946	970	635	779	946	1081	635	779	946	1207	635	779	946	1350	635	779	946	1477	635	779	946	1613	
15	643	759	643	790	879	643	790	960	982	643	790	960	1093	643	790	960	1221	643	790	960	1365	643	790	960	1493	643	790	960	1630	
14	653	770	653	802	890	653	802	975	994	653	802	975	1106	653	802	975	1235	653	802	975	1380	653	802	975	1509	653	802	975	1647	
13	662	780	662	814	902	662	814	990	1006	662	814	990	1118	662	814	990	1249	662	814	990	1396	662	814	990	1525	662	814	990	1664	
12	672	792	672	826	914	672	826	1006	1019	672	826	1006	1131	672	826	1006	1263	672	826	1006	1412	672	826	1006	1542	672	826	1006	1682	
11	683	803	683	839	927	683	839	1022	1032	683	839	1022	1145	683	839	1022	1279	683	839	1022	1428	683	839	1022	1559	683	839	1022	1700	
10	693	815	693	852	940	693	852	1039	1045	693	852	1039	1159	693	852	1039	1294	693	852	1039	1445	693	852	1039	1576	693	852	1039	1718	
9	704	827	704	866	953	704	866	1057	1059	704	866	1057	1173	704	866	1057	1310	704	866	1057	1462	704	866	1057	1594	704	866	1057	1737	
8	716	840	716	880	967	716	880	1075	1073	716	880	1075	1188	716	880	1075	1326	716	880	1075	1480	716	880	1075	1613	716	880	1075	1757	
7	727	853	727	895	981	727	895	1094	1088	727	895	1094	1203	727	895	1094	1343	727	895	1094	1498	727	895	1094	1632	727	895	1094	1777	
6	740	866	740	910	996	740	910	1113	1103	740	910	1113	1218	740	910	1113	1361	740	910	1113	1517	740	910	1113	1651	740	910	1113	1797	
5	752	880	752	926	1011	752	926	1134	1119	752	926	1134	1234	752	926	1134	1378	752	926	1134	1536	752	926	1134	1671	752	926	1134	1818	
4	766	895	766	942	1027	766	942	1155	1135	766	942	1155	1251	766	942	1155	1397	766	942	1155	1556	766	942	1155	1692	766	942	1155	1840	

DECLIVIDAD (%)

V_{inf} (km/h)	90		100		110		120		130		140		150		160				
	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90			
3	779	910	779	959	1043	779	959	1177	1267	1416	1577	779	959	1177	1713	779	959	1177	1862
2	794	926	794	977	1060	794	977	1201	1285	1435	1598	794	977	1201	1734	794	977	1201	1885
1	809	942	809	996	1078	809	996	1225	1303	1456	1620	809	996	1225	1757	809	996	1225	1908
0	824	959	824	1015	1096	824	1015	1250	1321	1476	1642	824	1015	1250	1780	824	1015	1250	1932
-1	843	979	843	1038	1117	843	1038	1280	1343	1501	1668	843	1038	1280	1807	843	1038	1280	1960
-2	862	1000	862	1062	1139	862	1062	1312	1365	1526	1695	862	1062	1312	1834	862	1062	1312	1989
-3	883	1022	883	1088	1163	883	1088	1345	1388	1552	1723	883	1088	1345	1863	883	1088	1345	2019
-4	904	1045	904	1114	1187	904	1114	1380	1413	1580	1753	904	1114	1380	1893	904	1114	1380	2050
-5	927	1069	927	1143	1212	927	1143	1418	1438	1608	1783	927	1143	1418	1923	927	1143	1418	2082
-6	951	1094	951	1172	1239	951	1172	1457	1464	1637	1815	951	1172	1457	1955	951	1172	1457	2115
-7	976	1121	976	1204	1267	976	1204	1500	1491	1668	1847	976	1204	1500	1988	976	1204	1500	2149
-8	1003	1149	1003	1237	1297	1003	1237	1545	1519	1700	1881	1003	1237	1545	2023	1003	1237	1545	2185
-9	1032	1179	1032	1273	1328	1032	1273	1593	1548	1734	1917	1032	1273	1593	2058	1032	1273	1593	2222
-10	1062	1211	1062	1311	1360	1062	1311	1644	1579	1769	1954	1062	1311	1644	2095	1062	1311	1644	2260
-11	1095	1244	1095	1351	1395	1095	1351	1699	1611	1805	1993	1095	1351	1699	2134	1095	1351	1699	2300
-12	1129	1280	1129	1394	1431	1129	1394	1758	1645	1844	2034	1129	1394	1758	2174	1129	1394	1758	2342
-13	1167	1318	1167	1440	1469	1167	1440	1822	1680	1884	2076	1167	1440	1822	2216	1167	1440	1822	2385
-14	1206	1358	1206	1490	1510	1206	1490	1891	1716	1927	2121	1206	1490	1891	2260	1206	1490	1891	2430
-15	1249	1401	1249	1543	1554	1249	1543	1966	1755	1971	2167	1249	1543	1966	2306	1249	1543	1966	2477
-16	1296	1448	1296	1601	1600	1296	1601	2048	1795	2018	2216	1296	1601	2048	2354	1296	1601	2048	2526

DECLIVIDAD (%)

V_{mfr} (km/h)	90		100		110		120		130		140		150		160											
	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90	80	90										
-17	1346	1497	1346	1663	1649	1736	1346	1663	1663	2138	1838	1346	1663	2138	2268	1346	1663	2138	2405	1346	1663	2138	2578			
-18	1400	1551	1400	1731	1701	1784	1400	1731	2236	1882	1400	1731	2236	2322	1400	1731	2236	2457	1400	1731	2236	2457	1400	1731	2236	2631
-19	1460	1608	1460	1805	1757	1835	1460	1805	2345	1929	1460	1805	2345	2380	1460	1805	2345	2513	1460	1805	2345	2513	1460	1805	2345	2687
-20	1525	1670	1525	1886	1817	1889	1525	1886	2466	1979	1525	1886	2466	2440	1525	1886	2466	2571	1525	1886	2466	2571	1525	1886	2466	2746
-21	1597	1738	1597	1975	1882	1946	1597	1975	2601	2031	1597	1975	2601	2504	1597	1975	2601	2632	1597	1975	2601	2632	1597	1975	2601	2808
-22	1676	1812	1676	2073	1952	2008	1676	2073	2754	2087	1676	2073	2754	2573	1676	2073	2754	2697	1676	2073	2754	2697	1676	2073	2754	2873
-23	1763	1892	1763	2182	2027	2073	1763	2182	2928	2146	1763	2182	2928	2645	1763	2182	2928	2765	1763	2182	2928	2765	1763	2182	2928	2942
-24	1861	1981	1861	2304	2109	2144	1861	2304	3128	2208	1861	2304	3128	2722	1861	2304	3128	2838	1861	2304	3128	2838	1861	2304	3128	3014
-25	1971	2079	1971	2441	2198	2220	1971	2441	3361	2275	1971	2441	3361	2805	1971	2441	3361	2914	1971	2441	3361	2914	1971	2441	3361	3091
-26	2096	2187	2096	2595	2296	2301	2096	2595	3636	2346	2096	2595	3636	2893	2096	2595	3636	2996	2096	2595	3636	2996	2096	2595	3636	3172
-27	2238	2308	2238	2772	2403	2390	2238	2772	3969	2421	2238	2772	3969	2988	2238	2772	3969	3083	2238	2772	3969	3083	2238	2772	3969	3258
-28	2402	2444	2402	2976	2521	2485	2402	2976	4381	2502	2402	2976	4381	3090	2402	2976	4381	3175	2402	2976	4381	3175	2402	2976	4381	3349
-29	2593	2597	2593	3213	2652	2590	2593	3213	4912	2589	2593	3213	4912	3201	2593	3213	4912	3274	2593	3213	4912	3274	2593	3213	4912	3446
-30	2818	2772	2818	3493	2798	2703	2818	3493	5630	2683	2818	3493	5630	3321	2818	3493	5630	3380	2818	3493	5630	3380	2818	3493	5630	3550
-31	3088	2974	3088	3828	2961	2828	3088	3828	6690	2784	3088	3828	6690	3452	3088	3828	6690	3495	3088	3828	6690	3495	3088	3828	6690	3661
-32	3417	3208	3417	4237	3146	2966	3417	4237	8511	2894	3417	4237	8511	3595	3417	4237	8511	3618	3417	4237	8511	3618	3417	4237	8511	3781
-33	3826	3483	3826	4745	3356	3118	3826	4745	12910	3012	3826	4745	12910	3753	3826	4745	12910	3752	3826	4745	12910	3752	3826	4745	12910	3909
-34	4350	3812	4350	5396	3598	3288	4350	5396	16381	3142	4350	5396	16381	3928	4350	5396	16381	3898	4350	5396	16381	3898	4350	5396	16381	4048
-35	5045	4212	5045	6260	3878	3478	5045	6260	21889	3283	5045	6260	21889	4123	5045	6260	21889	4057	5045	6260	21889	4057	5045	6260	21889	4198

DECLIVIDAD (%)

En resumen, las distancias de FdS del tren son inferiores a las disponibles en la infraestructura en los siguientes rangos de declividades:

	$V_c = 100 \text{ km/h}$	$V_c = 90 \text{ km/h}$	$V_c = 80 \text{ km/h}$
$V_{infr} = 80 \text{ km/h}$			[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 90 \text{ km/h}$			[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 100 \text{ km/h}$		[+35 ‰ , -15 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 110 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , +9 ‰]	[+35 ‰ , -20 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 120 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , -6 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 130 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , -15 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 140 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , -19 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 150 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , -21 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]
$V_{infr} = 160 \text{ km/h}$	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]	[+35 ‰ , -22 ‰]

Así, en función de la declividad crítica del recorrido del tren, podría fijarse una velocidad máxima (V_c) que garantizase su circulación segura por todo su recorrido. En el ejemplo anterior, si la declividad crítica del recorrido fuera de -22 ‰, la velocidad máxima de circulación del tren sería $V_c = 80 \text{ km/h}$. Si la declividad crítica del recorrido del tren fuera de -14 ‰, la velocidad máxima de circulación del tren sería $V_c = 90 \text{ km/h}$.

También sería posible aplicar diferentes velocidades máximas de circulación (V_c) en función de las velocidades máximas (V_{infr}) y declividad crítica de cada tramo homogéneo, consiguiendo así mejorar las condiciones de circulación del tren con garantías de seguridad, según lo contemplado en la tabla precedente, por ejemplo el tren podría llegar a circular a su $V_{max} = 100 \text{ km/h}$ en tramos de velocidad máxima por condiciones de la infraestructura $V_{infr} \geq 110 \text{ km/h}$ en determinados rangos de declividades. Por ejemplo, si $V_{infr} = 130 \text{ km/h}$ podría circular a $V_{max} = 100 \text{ km/h}$ en declividades de hasta -15‰, o si $V_{infr} = 150 \text{ km/h}$, podría circular a $V_{max} = 100 \text{ km/h}$ en declividades de hasta -21‰.

En este razonamiento la "V Max del tramo" (V_{infr}) debe ser interpretada como la reflejada en los "Cuadros de Velocidades Máximas" publicados por el AI, salvo en el caso de que exista una señal previa de "Preanuncio de parada". En este caso, la velocidad máxima (V_{infr}) en el tramo comprendido entre la señal siguiente a la de "preanuncio de parada" y la posterior, será la que muestre la pantalla alfanumérica de la señal de preanuncio de parada, y las potenciales restricciones de velocidad del tren que circule con un λ inferior al nominal establecido, deben considerarse en referencia a la indicada en la señal de preanuncio de parada.

Como se puede apreciar, las restricciones de velocidad de un tren cuando sufre una degradación de su λ , pueden variar en función de la complejidad del análisis que haga la EF titular del tren. En general, cuando se realizan análisis más detallados se consiguen mejores condiciones de circulación, garantizando siempre la seguridad.

COMPARACIÓN ENTRE DISTINTAS METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PESO FRENO (λ)

E.1 FICHAS UIC 544-1 EDICIONES 4, 5 Y 6 Y UNE-EN 16834

La norma UNE-EN 16834 [Ref. 11] define la metodología vigente de cálculo del λ de un vehículo o unidad autopropulsada que debe utilizarse para evaluar las prestaciones de frenado del nuevo material rodante. Por tanto, es la que se aplica a lo largo de esta ET.

Esta metodología definida en la [Ref. 11] es equivalente a la de la UIC-544-1 edición 6 [Ref. 01], por lo que a lo largo de este anexo se hará referencia a esta última, cuando se compare con ediciones anteriores a ella.

Las ediciones 4, 5 y 6 de la ficha UIC 544-1, anteriores a la [Ref. 11] y publicadas en los años 2004, 2013 y 2014, aportan cambios significativos respecto a la edición 3.

La edición 4, entre otros aspectos, incluyó un nuevo procedimiento de cálculo de λ para material rodante de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$, con diferencias relevantes respecto al de la edición 3. Además, aumentó de 160 a 200 km/h la velocidad máxima para la que se define el λ . Este procedimiento de obtención de λ es idéntico en las ediciones 4, 5 y 6 y equivalente al de la [Ref. 11]. Por tanto:

Para **material rodante ya existente**, su λ calculado según las ediciones 4, 5 o 6 de la ficha UIC 544-1, es equivalente al de la [Ref. 11], es decir:

$$\lambda_{UNE-EN-16834} \equiv \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{ed.5} \equiv \lambda_{ed.4}$$

E.2 PORCENTAJE DE PESO FRENO SEGÚN FICHA UIC 544-1 EDICIÓN 6 ($\lambda_{ed.6}$)

Para determinar λ , la [Ref. 11] establece, en función del tipo de material rodante, de sus características y de su V_{max} , el procedimiento a aplicar, que puede consistir en cálculos, ensayos o una combinación de ambos:

- A. En coches, locomotoras y unidades múltiples, es obligatorio realizar ensayos, independientemente de su V_{max} .
- B. En vagones:
 - a. Si su sistema de freno dispone de zapatas tipo P10 o LL, y se cumplen los requisitos definidos en la [Ref. 11], es posible determinar su λ por cálculo, siendo opcional realizar ensayos para verificar los resultados.
 - b. Si no se cumplen las condiciones anteriores, es obligatorio realizar ensayos.

Cuando se realicen ensayos, el procedimiento para determinar el λ de las diferentes clases de material rodante es el siguiente:

1. Material rodante de $V_{max} < 100 \text{ km/h}$: se realizan ensayos solo a la V_{max} . El valor de λ será el obtenido a dicha velocidad: $\lambda = \lambda_{V_{max}}$.
2. Material rodante de $V_{max} \geq 100 \text{ km/h}$: se realizan ensayos solo a 100 km/h . El valor de λ será el obtenido a 100 km/h : $\lambda = \lambda_{100}$.

3. Material rodante de $V_{max} > 100$ km/h: se realizan ensayos a las velocidades que se indican a continuación, y hasta alcanzar la V_{max} : 100*, 120, 140, 150**, 160, 180** y 200 km/h. El valor de λ será igual al menor de los λ_v obtenidos para las velocidades ensayadas, es decir:

$$\lambda = \min (\lambda_{100}^* , \lambda_{120} , \lambda_{140} , \lambda_{150}^{**} , \lambda_{160} , \lambda_{180}^{**} , \lambda_{200}).$$

*: No necesario en coches, unidades autopropulsadas, ni locomotoras evaluadas en régimen P.

** : Sólo si dicha velocidad coincide con la V_{max} .

De lo anterior se concluye que:

- A. $\lambda = \lambda_{V_{max}}$ para vehículos y unidades de $V_{max} \leq 100$ km/h.
 B. $\lambda \leq \lambda_v$, para velocidades en el rango $v = [100 \text{ km/h}, V_{max}]$, para vehículos y unidades de $V_{max} > 100$ km/h.

E.3 PORCENTAJE DE PESO FRENO SEGÚN FICHA UIC 544-1 EDICIÓN 3 ($\lambda_{ed.3}$)

La edición 3 de la ficha recoge un procedimiento de determinación del λ a partir de ensayos que fue modificado en las ediciones siguientes. A continuación, se describen algunas de las diferencias.

E.3.1 VEHÍCULOS DE $V_{max} \leq 120$ km/h

En este caso, el procedimiento de cálculo a partir de ensayos de la edición 3 es prácticamente similar al de la edición 4 y posteriores. La siguiente tabla muestra, para unas distancias de parada obtenidas en ensayos hipotéticos, las diferencias que se obtendrían al aplicar los procedimientos de las ediciones 6 y 3 de la ficha:

TIPO ENSAYO	V (km/h)	D. PARADA (m)	$\lambda_{ed.6}$	$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{ed.6} - \lambda_{ed.3}$
ENSAYO TREN 60 EJES	120	1060	74,8	75	-0,21%
		1000	80,0	80	0,04%
		950	84,9	85	-0,17%
		900	90,2	90	0,24%
		850	96,2	96	0,21%
		820	100,1	100	0,15%
	100	1000	52,4	52	0,76%
		950	55,6	54,5	2,02%
		900	59,2	58	2,05%
		850	63,2	62	1,93%
		800	67,7	66	2,55%
		750	72,8	71	2,52%
		700	78,7	76	3,40%
		650	85,4	82	3,99%
600	93,3	89	4,57%		

TIPO ENSAYO	V (km/h)	D. PARADA (m)	$\lambda_{ed.6}$	$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{ed.6} - \lambda_{ed.3}$
ENSAYO VEHÍCULO AISLADO	120	1000	64,6	68	-5,21%
		950	69,0	72	-4,29%
		900	73,9	77	-4,16%
		850	79,4	82,5	-3,91%
		800	85,5	89	-4,04%
		730	95,6	100	-4,64%
	100	900	48,7	46	5,57%
		850	52,2	50	4,15%
		800	56,1	54	3,66%
		750	60,5	58	4,06%
		700	65,5	63	3,80%
		650	71,3	68,5	3,92%
		600	78,1	75	3,93%
		550	86,1	82,5	4,15%
500	95,7	93	2,80%		

En general, se observa que los valores obtenidos conforme a la edición 3 son inferiores a los de la edición 6 ($\lambda_{ed.3} < \lambda_{ed.6}$), lo que está del lado de la seguridad. Únicamente, en los ensayos de vehículos aislados a 120 km/h, los valores de la edición 3 son ligeramente superiores (5 % máximo) a los de la edición 6 ($\lambda_{ed.3} > \lambda_{ed.6}$). Por ello:

Para **vehículos de $V_{max} \leq 120$ km/h**, se puede asimilar directamente su λ calculado según la edición 3 de la ficha UIC 544-1, al de la [Ref. 11], es decir:

$$\lambda_{ed.3} \approx \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{UNE-EN-16384}$$

E.3.2 VEHÍCULOS DE $V_{max} > 120$ km/h

En este caso, el procedimiento de cálculo de λ presenta diferencias conceptuales entre la edición 3 y las posteriores. En la edición 6, el valor de λ se determina como el mínimo de los λ_v obtenidos para todas las velocidades a las que se realice el ensayo (mínimo entre λ_{100} , λ_{120} , λ_{140} , λ_{150} , λ_{160} , λ_{180} , λ_{200}). Sin embargo, en la edición 3 el valor (λ) está asociado a una distancia de parada determinada (1000 m) que, en general, es un valor intermedio entre los λ_v obtenidos a las diferentes velocidades. Por tanto:

Para **vehículos de $V_{max} > 120$ km/h**, **NO se puede asimilar su λ calculado según la edición 3** de la ficha UIC 544-1 **al de la [Ref. 11]**. En estos casos, será necesario obtener este último.

En el apartado siguiente se recoge un método de conversión, que puede emplearse para el material rodante existente, cuando no se disponga de información suficiente para aplicar el proceso definido en la [Ref. 11].

E.4 MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE $\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$ A PARTIR DE $\lambda_{\text{ed.3}}$

Este método **no puede utilizarse para determinar el λ del material rodante de nueva construcción.**

Permite obtener una estimación del λ conforme a la [Ref. 11], en el material rodante existente de $V_{\text{max.}} > 120 \text{ km/h}$, cuando la información disponible (documentación de diseño, ensayos, etc.) no permita conocer las distancias de parada desde las velocidades utilizadas para calcular el $\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$. La estimación obtenida se considerará como un valor representativo de λ conforme a la UNE-EN 16834, a efectos de cálculo de distancias de parada relacionadas con la explotación, actualización documental e inscripciones de vehículos.

El cálculo se basa en determinar, a partir del $\lambda_{\text{ed.3}}$ y de ciertas consideraciones, cuál sería la deceleración equivalente en un proceso de frenado en el que el vehículo se detuviera en una distancia de 1000 m, desde una determinada velocidad inicial (v_0) (a calcular). A continuación, suponiendo que dicha deceleración es aplicable a frenados desde velocidades iniciales menores o iguales a la anterior, se calculan las distancias de frenado a velocidades inferiores a la correspondiente al frenado de 1000 m. Estas distancias de frenado determinadas analíticamente se asimilan a las que se obtendrían mediante ensayos, y se estima el valor de λ conforme a la [Ref. 11] ($\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$ estimado).

Por ello solo debe emplearse en el caso de vehículos existentes, ya que este método no está avalado por la [Ref. 11] ni por la [Ref. 01]. Esta última únicamente indica que el λ conforme a la edición 3 se puede estimar como el λ edición 6, multiplicado por 1,0 (para frenos tipo P) o 1,1 (para frenos de alta potencia, tipo R). Pero advierte que en ningún caso deben emplearse estos factores para estimar el $\lambda_{\text{ed.6}}$ a partir de $\lambda_{\text{ed.3}}$.

Para velocidades superiores a la correspondiente a una distancia de parada de 1.000 m, los λ_v se asimilarán al valor de λ determinado conforme a la ficha UIC 544-1, ed. 3.

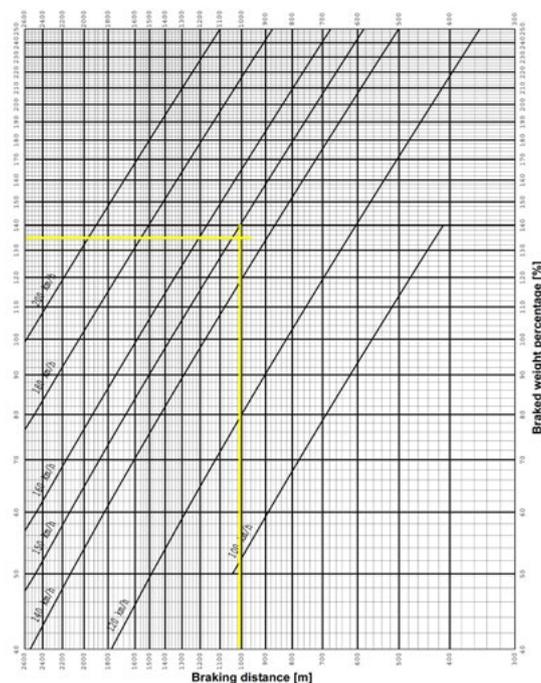
E.4.1 TRENES DE $V_{\text{max}} > 120 \text{ km/h}$

Ejemplo 1

Se considera una EMU de $V_{\text{max}} = 200 \text{ km/h}$, en régimen P, de 400 m de longitud con $\lambda_{\text{ed.3}} = 135 \%$.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. En el diagrama de "lambdas y distancias de parada" del apéndice A.1 de la [Ref. 11], se sitúa en el eje X el valor 135 %, y en el eje Y la distancia de parada 1000 m (por definición del parámetro λ en la edición 3 de la ficha UIC 544-1).



Se determina la velocidad a la que corresponde el punto marcado. Para ello existen dos alternativas:

- Realizar un redondeo a la velocidad inferior para la que existe recta característica, es decir, 140 km/h. Esta alternativa comete un error del lado de la seguridad.
- Calcular la velocidad a través de la expresión del apartado A.2 de la [Ref. 11]:

$$s = \frac{C}{\lambda + D}$$

$$\lambda = \frac{C}{s} - D$$

donde

λ porcentaje de masa frenada, expresada en %;

s distancia de frenado en aplicaciones de freno de emergencia, expresada en m;

C, D constantes, consulte la tabla A.1.

Tabla A.1

v km/h	C	D
100	61 300	8,9
120	91 633	11,6
140	130 995	11,6
150	152 640	11,6
160	176 714	11,6
180	228 219	11,6
200	287 620	11,6

En este caso, entrando en la fórmula con los valores del punto en cuestión ($\lambda = 135\%$, $s = 1000 m$, y $D = 11,6$), se obtiene: $C = 146600$.

A continuación, se debe obtener la velocidad a la que corresponde este valor de C .

Velocidad v (km/h)	C	D
120	91633	11,6
140	130995	11,6
¿?	146.600	11,6
150	152640	11,6
160	176714	11,6
180	228219	11,6
200	287620	11,6

Para ello, se calcula la curva $v = f(C)$, mediante un ajuste por mínimos cuadrados de los valores de la tabla anterior, obteniéndose:

$$v = -5,6811 * 10^{-10} * C^2 + 6,2168 * 10^{-4} * C + 68,04$$

Entrando con $C = 146.600$, se obtiene: $v = 147 \text{ km/h}$.

Partiendo de que la distancia de parada (s) con FdE desde 147 km/h es 1000 m , se determina la deceleración equivalente (a_e) del tren durante el frenado, considerando un tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno de $5,02 \text{ s}$, (valor correspondiente a un tren Lambda (P,400) en el modelo ETCS, ver apartado A.2 de esta ET). Para ello, sustituyendo en la expresión:

$$a_e = \frac{v_{inicial}^2}{2 * (s - v_{inicial} * t_e)}$$

se obtiene una deceleración equivalente (a_e) del FdE de $1,049 \text{ m/s}^2$.

A partir de la deceleración (a_e) y tiempo (t_e) anteriores, se calculan las distancias de parada con FdE, para cada una de las velocidades ($120, 140, 160$ y 200 km/h) a las que deberían realizarse ensayos para determinar λ conforme al apartado 6.2.1 de la [Ref. 01], al tratarse de una EMU. Para ello, se emplea la expresión indicada en el apartado 8 de esta ET. Para velocidades superiores a 147 km/h , no resulta necesario el cálculo de las distancias de parada, ya que el λ_v a dichas velocidades se considera igual al valor determinado según la edición 3.

Con las distancias asociadas a cada velocidad, mediante las fórmulas o gráfica del anexo A de la [Ref. 11] se obtienen los λ_v asociados a cada velocidad. Finalmente, se escoge como valor representativo el menor de todos ellos, conforme al procedimiento de la ficha:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	Valor λ_v	Valor $\lambda_{ed.6}$
120	697	$\lambda_{120} = 120 \%$	120 %
140	916	$\lambda_{140} = 131 \%$	
160	--	$\lambda_{160} = \lambda_{ed.3} = 135\%$	
200	--	$\lambda_{200} = \lambda_{ed.3} = 135\%$	

Mediante el procedimiento descrito se observa que para trenes de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$, un $\lambda_{ed.3} = 135 \%$, **equivale aproximadamente a un $\lambda_{ed.6} = 120 \%$** . Este procedimiento se basa en las hipótesis de que el tiempo de respuesta equivalente del FdE es $5,02 \text{ s}$, y que la deceleración de frenado equivalente es la misma para frenados desde cualquier velocidad inferior a la correspondiente a una distancia de parada de 1.000 m (147 km/h en el ejemplo presentado).

Ejemplo 2

Se considera una EMU de $V_{max} = 200 \text{ km/h}$, en régimen P, de 400 m de longitud con $\lambda_{ed.3} = 155 \%$.

Repetiendo el proceso del ejemplo anterior, se obtienen los siguientes valores: $C = 166600$, velocidad inicial $v_0 = 156 \text{ km/h}$ (correspondiente a una distancia de parada con FdE de 1000 m), $t_e = 5,02 \text{ s}$, $a_e = 1,20 \text{ m/s}^2$. A partir de estos valores se obtiene la siguiente tabla:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	Valor λ_v	Valor $\lambda_{ed.6}$
120	630	$\lambda_{120} = 134 \%$	134 %
140	825	$\lambda_{140} = 147 \%$	
160	--	$\lambda_{160} = \lambda_{ed.3} = 155\%$	
200	--	$\lambda_{200} = \lambda_{ed.3} = 155\%$	

Así, para trenes de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$, un $\lambda_{ed.3} = 155 \%$, equivale aproximadamente a un $\lambda_{ed.6} = 134 \%$. Este procedimiento se basa en las hipótesis de que el tiempo de respuesta equivalente del FdE es $5,02 \text{ s}$, y que la deceleración de frenado equivalente es la misma para frenados desde cualquier velocidad inferior a la correspondiente a una distancia de parada de 1.000 m (156 km/h en el ejemplo presentado).

E.4.2 LOCOMOTORAS AISLADAS CON $V_{max} > 120 \text{ km/h}$

En el caso de locomotoras aisladas, la velocidad mínima a la que se evalúan sus prestaciones de frenado en régimen P y G según la [Ref. 11] es 100 km/h .

La velocidad de 100 km/h se utiliza para evaluar las prestaciones en régimen G. Para régimen P la menor velocidad a considerar es 120 km/h .

Como ejemplo se considera una locomotora en régimen P con $\lambda_{ed.3} = 155 \%$:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	Valor λ_v	Valor $\lambda_{ed.6}$
100	462	$\lambda_{100} = 124 \%$	134%
120	630	$\lambda_{120} = 134 \%$	
140	825	$\lambda_{140} = 147 \%$	
160	--	$\lambda_{160} = \lambda_{ed.3} = 155 \%$	
200	--	$\lambda_{200} = \lambda_{ed.3} = 155 \%$	

En base a estos datos, se obtiene que el valor λ según la [Ref. 11] es 134% .

Se considera también el caso de locomotora circulando en régimen de frenado G, cuyo λ es distinto al de régimen P (no así en los vagones, que es idéntico en régimen P y G). Según el apartado 8.6 de la [Ref. 11], el λ en régimen G (λ_G) de una locomotora se obtiene transfiriendo la distancia de parada desde 100 km/h en régimen P a la correspondiente curva del apartado B1 de la [Ref. 11] (o empleando las fórmulas equivalentes a dichas gráficas recogidas en su apartado B2). En el ejemplo anterior esa distancia sería igual a 462 m , que se trasladaría a un $\lambda_G = 104\%$:

$$\lambda_G = \frac{52840}{s} - 10 = \frac{52840}{462} - 10 = 104\%$$

E.4.3 TABLA DE ESTIMACIÓN DE $\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$ Y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{\text{ed.3}}$

Aplicando el procedimiento descrito en los dos puntos anteriores se obtiene una tabla de equivalencia entre valores de $\lambda_{\text{ed.3}}$ en el intervalo [80% , 200%], y sus correspondientes valores de $\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}}$ y de λ_v entre 120 y 200 km/h.

Esta tabla no puede aplicarse para determinar el λ del material rodante de nueva construcción. Tampoco es útil en vehículos de $V_{\text{max}} \leq 120$ km/h, ya que en este caso su λ calculado según la edición 3 es directamente asimilable al de la edición 6 ($\lambda_{\text{ed.3}} \equiv \lambda_{\text{ed.6}} \equiv \lambda_{\text{UNE-EN 16834}}$).

VALORES ESTIMADOS DE $\lambda_{\text{ed.6}}$ Y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{\text{ed.3}}$ (Aplicable a Locomotoras, Coches y EMU – DMU)									
$\lambda_{\text{ed.3}}$	$\lambda_{120} \equiv \lambda_{\text{ed.6}} \equiv \lambda_{\text{UNE-EN 16834}}$	λ_{130}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{170}	λ_{180}	λ_{190}	λ_{200}
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
84	83	83	84	84	84	84	84	84	84
85	84	84	85	85	85	85	85	85	85
86	85	85	86	86	86	86	86	86	86
87	85	85	87	87	87	87	87	87	87
88	86	86	88	88	88	88	88	88	88
89	87	87	89	89	89	89	89	89	89
90	88	88	90	90	90	90	90	90	90
91	88	88	91	91	91	91	91	91	91
92	89	89	92	92	92	92	92	92	92
93	90	90	93	93	93	93	93	93	93
94	90	90	94	94	94	94	94	94	94
95	91	91	95	95	95	95	95	95	95
96	92	92	96	96	96	96	96	96	96
97	93	93	97	97	97	97	97	97	97
98	93	93	98	98	98	98	98	98	98
99	94	94	99	99	99	99	99	99	99
100	95	95	100	100	100	100	100	100	100

VALORES ESTIMADOS DE $\lambda_{ed.6}$ y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{ed.3}$ (Aplicable a Locomotoras, Coches y EMU – DMU)									
$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{120} \equiv \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{UNE-EN 16834}$	λ_{130}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{170}	λ_{180}	λ_{190}	λ_{200}
101	96	96	101	101	101	101	101	101	101
102	96	96	102	102	102	102	102	102	102
103	97	97	103	103	103	103	103	103	103
104	98	98	104	104	104	104	104	104	104
105	98	98	105	105	105	105	105	105	105
106	99	99	106	106	106	106	106	106	106
107	100	100	107	107	107	107	107	107	107
108	101	101	108	108	108	108	108	108	108
109	101	101	109	109	109	109	109	109	109
110	102	102	110	110	110	110	110	110	110
111	103	103	111	111	111	111	111	111	111
112	103	103	112	112	112	112	112	112	112
113	104	104	113	113	113	113	113	113	113
114	105	105	114	114	114	114	114	114	114
115	106	106	115	115	115	115	115	115	115
116	106	106	116	116	116	116	116	116	116
117	107	107	117	117	117	117	117	117	117
118	108	108	118	118	118	118	118	118	118
119	109	109	119	119	119	119	119	119	119
120	109	109	119	120	120	120	120	120	120
121	110	110	120	121	121	121	121	121	121
122	111	111	121	122	122	122	122	122	122
123	111	111	122	123	123	123	123	123	123
124	112	112	123	124	124	124	124	124	124
125	113	113	123	125	125	125	125	125	125
126	113	113	124	126	126	126	126	126	126

VALORES ESTIMADOS DE $\lambda_{ed.6}$ y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{ed.3}$ (Aplicable a Locomotoras, Coches y EMU – DMU)									
$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{120} \equiv \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{UNE-EN 16834}$	λ_{130}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{170}	λ_{180}	λ_{190}	λ_{200}
127	114	114	125	127	127	127	127	127	127
128	115	115	126	128	128	128	128	128	128
129	116	116	127	129	129	129	129	129	129
130	116	116	127	130	130	130	130	130	130
131	117	117	128	131	131	131	131	131	131
132	118	118	129	132	132	132	132	132	132
133	118	118	130	133	133	133	133	133	133
134	119	119	131	134	134	134	134	134	134
135	120	120	131	135	135	135	135	135	135
136	120	120	132	136	136	136	136	136	136
137	121	121	133	137	137	137	137	137	137
138	122	122	134	138	138	138	138	138	138
139	123	123	134	139	139	139	139	139	139
140	123	123	135	140	140	140	140	140	140
141	124	124	136	140	141	141	141	141	141
142	125	125	137	141	142	142	142	142	142
143	125	125	138	142	143	143	143	143	143
144	126	126	138	143	144	144	144	144	144
145	127	127	139	144	145	145	145	145	145
146	127	127	140	145	146	146	146	146	146
147	128	128	141	145	147	147	147	147	147
148	129	129	141	146	148	148	148	148	148
149	129	129	142	147	149	149	149	149	149
150	130	130	143	148	150	150	150	150	150
151	131	131	144	149	151	151	151	151	151
152	132	132	145	149	152	152	152	152	152

VALORES ESTIMADOS DE $\lambda_{ed.6}$ y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{ed.3}$ (Aplicable a Locomotoras, Coches y EMU – DMU)									
$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{120} \equiv \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{UNE-EN 16834}$	λ_{130}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{170}	λ_{180}	λ_{190}	λ_{200}
153	132	132	145	150	153	153	153	153	153
154	133	133	146	151	154	154	154	154	154
155	134	134	147	152	155	155	155	155	155
156	134	134	148	153	156	156	156	156	156
157	135	135	148	153	157	157	157	157	157
158	136	136	149	154	158	158	158	158	158
159	136	136	150	155	159	159	159	159	159
160	137	137	151	156	160	160	160	160	160
161	138	138	151	157	161	161	161	161	161
162	138	138	152	157	162	162	162	162	162
163	139	139	153	158	163	163	163	163	163
164	140	140	154	159	164	164	164	164	164
165	140	140	154	160	165	165	165	165	165
166	141	141	155	161	166	166	166	166	166
167	142	142	156	161	167	167	167	167	167
168	142	142	157	162	168	168	168	168	168
169	143	143	157	163	169	169	169	169	169
170	143	143	158	164	169	169	170	170	170
171	144	144	159	164	170	170	171	171	171
172	145	145	160	165	171	171	172	172	172
173	145	145	160	166	172	172	173	173	173
174	146	146	161	167	173	173	174	174	174
175	147	147	162	168	174	174	175	175	175
176	147	147	163	168	174	174	176	176	176
177	148	148	163	169	175	175	177	177	177
178	149	149	164	170	176	176	178	178	178

VALORES ESTIMADOS DE $\lambda_{ed.6}$ Y λ_v A PARTIR DE $\lambda_{ed.3}$ (Aplicable a Locomotoras, Coches y EMU – DMU)									
$\lambda_{ed.3}$	$\lambda_{120} \equiv \lambda_{ed.6} \equiv \lambda_{UNE-EN\ 16834}$	λ_{130}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{170}	λ_{180}	λ_{190}	λ_{200}
179	149	149	165	171	177	177	179	179	179
180	150	150	166	171	178	178	180	180	180
181	151	151	166	172	178	178	181	181	181
182	151	151	167	173	179	179	182	182	182
183	152	152	168	174	180	180	183	183	183
184	152	152	168	174	181	181	184	184	184
185	153	153	169	175	182	182	185	185	185
186	154	154	170	176	182	182	186	186	186
187	154	154	171	177	183	183	187	187	187
188	155	155	171	177	184	184	188	188	188
189	156	156	172	178	185	185	189	189	189
190	156	156	173	179	186	186	190	190	190
191	157	157	173	180	186	186	191	191	191
192	157	157	174	180	187	187	192	192	192
193	158	158	175	181	188	188	193	193	193
194	159	159	176	182	189	189	194	194	194
195	159	159	176	183	189	189	195	195	195
196	160	160	177	183	190	190	196	196	196
197	161	161	178	184	191	191	197	197	197
198	161	161	178	185	192	192	198	198	198
199	162	162	179	186	193	193	199	199	199
200	162	162	180	186	193	193	200	200	200

E. 4. 4 EJEMPLOS DE ESTIMACIÓN DE $\lambda_{ed.6}$ Y λ_v MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TABLA

1. Ejemplo 1

Se considera un Tren TALGO III Tipo 160 (actualmente retirado de la operación), cuyos datos son los siguientes:

4.1. Tren Talgo III Tipo 160

● COMPOSICIÓN

- Locomotora Serie 269.4
- 7 remolques de 1ª clase (24 plazas)
- 12 remolques de 2ª clase (32 plazas)
- 1 remolque cafetería
- 1 remolque furgón
- 1 convertidor

CARGA DE LOS REMOLQUES	
7 remolques (7 x 80 x 24 = 13.440)	13,5
12 remolques (12 x 80 x 32 = 30.720)	30,8
1 furgón equipajes	2,0
CARGA TOTAL	46,3 t

MASA TOTAL DEL TREN	
Locomotora	84
21 remolques (tara) (7 x 9,3 + 12 x 9,7 + 9,5 + 15)	206
Tara convertidor	26,1
Carga total	46,3
MASA TOTAL	362,4 t

MASA FRENADA DEL TREN	
Locomotora Serie 269.4	101 régimen P
21 remolques (21 x 14)	294
Convertidor	46
MASA FRENADA TOTAL	441 t

Cálculo del porcentaje de frenado automático disponible.

$$\frac{441 \times 100}{362,4} = 121,69$$

Superior al 120% necesario

Para el tren completo: $\lambda_{ed.3} = \frac{441}{362,4} 100 = 121,69 \%$

Entrando en la tabla de conversión del apartado anterior con $\lambda_{ed.3} = 121 \%$, se obtienen los siguientes valores:

$\lambda_{ed.3}$	λ_{120}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{180}	λ_{200}
121%	110%	120%	121%	121%	121%	121%

Por tanto, el valor estimado del $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed.6}$ del tren será del **110 %**.

Nota: si los λ requeridos por el AI para circular a cada velocidad fueran los siguientes:

TIPO Régimen	T 50	T 60	T 70	T 80	T 90	T 100	T 110	T 120	T 130	T 140 a 160	T 180 a 200	T 220
P/V	35	40	45	55	65	65	75	90	105	120	135	150
G/M	45	50	55	65	75	75						

y si el único dato disponible del tren fuera el valor de $\lambda_{ed,6} = 110 \%$, dicho tren solo podría circular a una velocidad de 130 km/h (ya que para $V = 130 \text{ km/h}$, $\lambda = 105 \%$). Sin embargo, aplicando la tabla de conversión a partir del $\lambda_{ed,3}$ y estimando los valores λ_{vr} como se ha hecho en el ejemplo, el tren podría circular a 160 km/h (ya que para $V = 160 \text{ km/h}$, $\lambda = 120 \%$, habiéndose obtenido en el ejemplo $\lambda_{160} = 121 \%$).

2. Ejemplo 2

Se considera una locomotora 252.001, circulando aislada en régimen P, cuyos datos son los siguientes:

LOCOMOTORAS ELÉCTRICAS

SERIE	MASA EN SERVICIO (PESO)	MASA FRENADA			
		FRENO AUTOMÁTICO			FRENO DE ESTACIONAMIENTO
		G	P	R	
250	125	84	132		30
250-600	130	104	142		30
251	138	77	121	152	24
252 (01 a 11)	89	80	(P ₁₆₀)-138		32
252 (12 a 31)	89	80	(P ₂₀₀)-137		32
252 (32 a 75)	86	80	(P+E ₂₀₀)-160		32
269.1	88	49	77	97	25
269.2	88	49	77	97	25
269.2 con bloque de freno	88	63	106		34
269.3	88	49	77	97	25
269.4	84	60	101		43
269.5	88	49	77	97	25
269.6	88	63	106		33
276	120	75	101		30
279	80	51	72		42
289	84	51	72		42
289.1	168	102	144		84

En este caso: $\lambda_{ed,3} = \frac{138}{89} = 155 \%$

Entrando en la tabla de conversión del apartado anterior con $\lambda_{ed,3} = 155 \%$ se obtienen los siguientes valores:

$\lambda_{ed,3}$	λ_{120}	λ_{140}	λ_{150}	λ_{160}	λ_{180}	λ_{200}
155%	134%	147%	152%	155%	155%	155%

Por tanto, el valor estimado del $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed,6}$ de la locomotora aislada en régimen P será del **134%**.

Como en régimen G, la velocidad máxima es de 100 km/h , no hay diferencia entre los valores de $\lambda_{ed,6}$ y $\lambda_{ed,3}$ en dicho régimen, es decir: $\lambda_{ed,6} = \lambda_{ed,3} = 80/89 = 89,89 \%$.

En consecuencia, el $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed,6}$ de la locomotora, en régimen G, sería del **89,9 %**.

E.5 CONCLUSIÓN EN CUANTO AL USO DEL PARÁMETRO λ

Según lo indicado en el apartado 7 de esta ET, para aplicar el modelo de conversión de λ en deceleraciones y tiempos de respuesta equivalente del freno, puede utilizarse:

- A. El valor de λ determinado conforme a la [Ref. 11].
- B. El valor de λ_v correspondiente a la velocidad específica a la que se desee calcular la distancia de parada, determinado conforme a las ediciones 3, 4, 5 o 6 de la ficha UIC 544-1 o mediante la [Ref. 11].

Para el material rodante existente:

1. Los valores de λ obtenidos conforme a las ediciones 4, 5 o 6 de la ficha son idénticos a los obtenidos conforme a la [Ref. 11].
2. Para el material de $V_{max} \leq 120 \text{ km/h}$, los valores de λ obtenidos conforme a la edición 3 de la ficha, pueden ser automáticamente asimilados a los obtenidos conforme a la [Ref. 11].
3. Para el material de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$, los valores de λ obtenidos conforme a la edición 3 de la ficha deben ser transformados en sus equivalentes según la [Ref. 11]. Para ello se puede utilizar el procedimiento indicado en el apartado E.4 de esta ET, que permite estimar también los correspondientes valores de λ_v .

NOTA IMPORTANTE: Para el material rodante de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$ cuyo λ haya sido determinado conforme a la edición 3, la aplicación directa de dicho valor λ en el modelo de conversión recogido en el anexo A de la presente ET, podría proporcionar distancias de parada más cortas que las reales, lo que iría en contra de la seguridad.

E.6 OBTENCIÓN DEL “LAMBDA ESTIMADO” DE UN TREN GAMMA

Cuando las prestaciones de frenado de un tren se expresan mediante deceleraciones (a_e) y tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE, la información disponible es mayor que con el λ .

No obstante, para la aplicación de esta ET, es necesario disponer del λ correspondiente a un tren Gamma, del que solo se conocen su a_e y su t_e .

En este caso, es posible obtener analíticamente un λ estimado conforme a los procedimientos de la [Ref. 11], pero sin realizar los ensayos establecidos en ella. El proceso a seguir es el siguiente:

1. En función de la tipología y V_{max} del vehículo o unidad, se determinan las velocidades a las que habría que realizar los ensayos para obtener el valor de λ conforme a la [Ref. 11].
2. Para cada una de las velocidades anteriores, se calculan las distancias de parada en horizontal con FdE en condiciones nominales. Para ello, se utiliza la expresión indicada en el apartado 8 de esta ET, con las deceleraciones (a_e) y el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE del tren.
3. Mediante el procedimiento recogido en la [Ref. 11] se calculan los λ_v asociados a cada velocidad.
4. Conforme a la [Ref. 11] se determina el λ que caracteriza al tren analizado. En función de su V_{max} y características, este valor puede ser igual al λ_v a una velocidad concreta (caso de material rodante de $V_{max} = 100$ ó 120 km/h), o al mínimo de una serie de λ_v (caso de material rodante de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$).

El proceso anterior sigue las directrices de la [Ref. 11], pero no considera determinadas correcciones y verificaciones que deben realizarse sobre los resultados en cumplimiento estricto de la ficha. Por tanto, el valor así obtenido debe tomarse como una estimación cuyo uso se considera aceptable, pero que en ocasiones puede diferir ligeramente del valor que se obtendría aplicando estrictamente el procedimiento de la [Ref. 11].

E.6.1 EJEMPLO 1

Se considera un tren Gamma de composición fija, sin dispositivo de regulación de la fuerza de frenado en función de la carga y de $V_{max} = 350 \text{ km/h}$. Se desea obtener un “ λ estimado”, que valdrá únicamente para evaluar sus prestaciones de frenado hasta 200 km/h .

Las prestaciones de FdE del tren en condiciones nominales, expresadas como deceleraciones y tiempo de respuesta equivalente del freno, en carga máxima (estado en que se obtienen las menores deceleraciones), son las siguientes:

Tiempo de respuesta equivalente (t_e) del FdE	Deceleración media (m/s^2) medida entre el final de t_e y el momento de alcanzar la velocidad objetivo, v_{fin}			
	350 - 300 km/h	300 - 230 km/h	230 - 170 km/h	170 - 0 km/h
3 s	0,75	0,9	1,05	1,2

El procedimiento para determinar el “ λ estimado” es el siguiente:

- Según la Tabla 7 de la [Ref. 11], al tratarse de una unidad de composición fija y $V_{max} = 200 \text{ km/h}$ (a efectos del cálculo), deberían realizarse ensayos a 120, 140, 160 y 200 km/h .

Entrando en la expresión del apartado 8 de esta ET, con las deceleraciones y tiempo de respuesta equivalente del FdE indicados en la tabla anterior, se obtienen las distancias de parada en horizontal para cada una de las velocidades indicadas:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)
120	563
140	747
160	956
200	1503

Se determinan los λ_v correspondientes a cada velocidad analizada mediante el procedimiento indicado en el apartado 8.2 y en el anexo A de la [Ref. 11]:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	λ_v
120	563	$\lambda_{120} = 151 \%$
140	747	$\lambda_{140} = 164 \%$
160	956	$\lambda_{160} = 173 \%$
200	1503	$\lambda_{200} = 180 \%$

Conforme a lo indicado en el apartado 8.1.1 de la [Ref. 11], el λ a considerar como resultado final del proceso es el menor de los λ_v obtenidos. Por tanto, el “ λ estimado” para el tren del ejemplo es 151 %.

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	λ_v	Valor $\lambda_{ed. 6}$
120	563	$\lambda_{120} = 151 \%$	151 %
140	747	$\lambda_{140} = 164 \%$	
160	956	$\lambda_{160} = 173 \%$	
200	1503	$\lambda_{200} = 180 \%$	

E.6.2 EJEMPLO 2

Se considera un tren Gamma de composición fija, con dispositivo de regulación de la fuerza de frenado en función de la carga y $V_{max} = 120 \text{ km/h}$.

Las prestaciones de FdE del tren en condiciones nominales, expresadas como deceleraciones y tiempo de respuesta equivalente del freno, para cualquier estado de carga, son las siguientes:

t_e (s)	Deceleración media (m/s^2) (medida entre el final de t_e y el momento de alcanzar la velocidad objetivo, v_{fin})
1,5	1,3

El procedimiento para determinar el “ λ estimado” es el siguiente:

- Según la Tabla 7 de la [Ref. 11], al tratarse de una unidad de composición fija y $V_{max} = 120 \text{ km/h}$, deberían realizarse ensayos únicamente a 120 km/h .
- Entrando en la expresión del apartado 8 de esta ET, con la deceleración y tiempo de respuesta equivalente del FdE indicados en la tabla anterior, se obtiene la distancia de parada en horizontal para la velocidad de 120 km/h :

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)
120	477

- Se determina el λ_v correspondiente a la velocidad indicada mediante el procedimiento indicado en el apartado 8.2 y en el anexo A de la [Ref. 11]:

Velocidad (km/h)	Distancia de parada (m)	λ_v
120	477	$\lambda_{120} = 180 \%$

- Conforme a lo indicado en el apartado 8.1.1 de la [Ref. 11], el λ a considerar como resultado final del proceso es el λ_{120} . Por tanto, el “ λ estimado” para el tren del ejemplo es 180 %.

CAPACIDAD DE FRENADO DE TRENES DE MERCANCÍAS EN RÉGIMEN G

F.1 RÉGIMEN DE FRENADO G

El sistema de frenado por aire comprimido, basado en las prescripciones de la UIC, es utilizado por la mayoría de los trenes de viajeros (bien como freno principal o como freno de respaldo) y por la práctica totalidad de los trenes de mercancías.

Dentro de este sistema existen dos regímenes de frenado, que se diferencian en el tiempo necesario para llenar los cilindros de freno hasta alcanzar el 95 % de su presión máxima (ésta no varía), al activar el FdE a vehículo aislado (anexo A de la [Ref. 10]):

1. Posición P/V ("Passenger" o Viajeros): tiempo de llenado de cilindros entre 3 y 5 segundos (o 6 s en caso de sistemas con válvula relé de carga variable).
2. Posición G/M ("Goods" o Mercancías): tiempo de llenado de cilindros entre 18 y 30 segundos.

En consecuencia, un tren con un determinado λ , necesita más distancia para detenerse cuando circula en régimen G que cuando lo hace en P, a pesar de aplicar en ambos casos la misma presión en cilindros y contar con la misma deceleración una vez el freno se encuentra completamente aplicado.

Para determinar el λ de un vehículo en régimen G, resulta de aplicación lo siguiente:

- **Vagones:** el λ en régimen G es idéntico al λ en régimen P, dado que no existe una evaluación específica para dicho régimen, según indica el apartado 8.5 de la [Ref. 11].
- **Locomotoras:** el λ en régimen G se obtiene utilizando la metodología recogida en el apartado 8.6 de la [Ref. 11]. El λ obtenido en dicho régimen G resulta inferior al valor en régimen P.

En el presente anexo F se empleará la notación λ_G , para el porcentaje de peso freno de un tren cuando este circule con todos sus vehículos en régimen de frenado G, y λ_P , para cuando circule con todos sus vehículos en régimen P. Notar que tanto λ_G como λ_P pueden corresponder tanto a $\lambda_{\text{UNE-EN 16834}} \equiv \lambda_{ed,6}$ como a $\lambda_{ed,3}$ dado que los trenes a los que se refiere este apartado tienen la velocidad limitada a 100 km/h. En un tren la única diferencia entre el λ_G y el λ_P es la aportada por la locomotora.

En esta ET no se utiliza el modelo ETCS de conversión de λ en deceleraciones para trenes circulando en régimen G. La razón es que el modelo fue desarrollado para estimar las distancias de parada (y de reducción de velocidad) de trenes en régimen P y, además, la deceleración instantánea (a_e) y el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno que se obtienen no reflejan las características reales de ningún tren o vehículo concreto.

El uso de dicho modelo ETCS para un tren en régimen G, modificando t_e según propone dicho modelo, es útil para trenes circulando con sistema ETCS en régimen G, pero las estimaciones de distancias de parada (o de reducción de velocidad) son demasiado groseras (aunque del lado de la seguridad) como para utilizarlas en un cálculo afinado.

Por ello, en el apartado F.2 de esta ET se ha desarrollado un método específico para determinar el incremento de λ necesario para compensar la diferencia de prestaciones (distancias de parada) entre los dos regímenes, en un tren que cuente con un determinado λ .

F.2 EQUIVALENCIA ENTRE PORCENTAJES DE PESO FRENO CIRCULANDO EN G Y P

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, la distancia que necesita un tren para detenerse cuando circula en régimen G es superior a la que necesita, en idénticas condiciones, si circula en régimen P, debido al mayor tiempo de llenado de sus cilindros de freno. De lo anterior se deduce que:

- Un tren con un determinado λ , al circular en régimen G, es como si lo hiciera en régimen P con un λ inferior: $\lambda_{P \text{ equivalente}} = \lambda_G - \Delta\lambda$
- Para que dos trenes, uno en régimen G y otro en P se detengan en la misma distancia, el primero necesita contar con un λ mayor que el segundo (en igualdad de condiciones):

$$Dist. \text{ frenado tren } (G, \lambda_G) \equiv Dist. \text{ frenado tren equivalente } (P, \lambda_{P \text{ equivalente}} = \lambda_G - \Delta\lambda)$$

Para estimar el $\Delta\lambda$, y a partir de las indicaciones de la [Ref. 01], se ha realizado lo siguiente:

1. Se calculan las distancias de FdE en condiciones nominales, en régimen P, desde 30 km/h hasta 100 km/h (máxima velocidad para circular en régimen G por la RFIG, según la [Ref. 04]), para declividades de -20 ‰, -10 ‰, horizontal, +10 ‰ y +20 ‰.
2. Con las distancias y velocidades anteriores se entra en las gráficas del apéndice L de la [Ref. 01], que son válidas hasta 700 m de longitud remolcada (máxima permitida en la RFIG), que se asumen válidas para cualquier tipo de zapata. De esta forma se determina el valor de λ_P que necesitaría un tren en régimen G de longitud hasta 700 m para no superar dichas distancias de parada. Dicho valor sería el $\lambda_{P \text{ equivalente}}$ equivalente a efectos de distancia de frenado al λ_P en cuestión.

A continuación, se muestran las tablas con el $\Delta\lambda$ que es necesario aplicar a un tren circulando en régimen G, para compensar el mayor tiempo requerido para la actuación plena del freno, de forma que puedan aplicarse las fórmulas de distancias de frenado establecidas en esta ETC para el régimen P.

λ_G	44%	46%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	53%	54%
$\lambda_{P \text{ equivalente}}$	40%	41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%
$\Delta\lambda$	+4	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5

λ_G	56%	57%	59%	60%	62%	63%	65%	66%	68%	69%
$\lambda_{P \text{ equivalente}}$	50%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	57%	58%	59%
$\Delta\lambda$	+6	+6	+7	+7	+8	+8	+9	+9	+10	+10

λ_G	71%	73%	74%	76%	77%	78%	80%	81%	83%	84%
$\lambda_{P \text{ equivalente}}$	60%	61%	62%	63%	64%	65%	66%	67%	68%	69%
$\Delta\lambda$	+11	+12	+12	+13	+13	+13	+14	+14	+15	+15

λ_G	85%	87%	88%	89%	91%	92%	93%	95%	97%	98%
$\lambda_{P \text{ equivalente}}$	70%	71%	72%	73%	74%	75%	76%	77%	78%	79%
$\Delta\lambda$	+15	+16	+16	+16	+17	+17	+17	+18	+19	+19

λ_G	100%	101%	103%	104%	106%	108%	109%	111%	112%	114%
λ_P equivalente	80%	81%	82%	83%	84%	85%	86%	87%	88%	89%
$\Delta\lambda$	+20	+20	+21	+21	+22	+23	+23	+24	+24	+25

Para determinar la velocidad máxima de circulación (V_c) por una línea o tramo de un tren circulando en régimen G, la EF deberá comprobar que el $\lambda_{P\text{ equivalente}}$ del tren es superior al valor de λ_P mínimo establecido por el AI para la circulación de un tren Lambda (P,400) por dicha línea.

F. 3 EJEMPLOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA

F. 3. 1 EJEMPLO 1

Se desea determinar la velocidad de circulación (V_c) de un tren de mercancías en régimen G, de $L_{remolcada} = 700\text{ m}$ y $\lambda_G = 75\%$ (*) (conforme a la [Ref. 11]), en una línea en la que las prestaciones de frenado mínimas requeridas por el AI para el tren de tipo (P,400) son las siguientes:

	Velocidad (V_c) (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Régimen P	λ_P requerido	45 %	45 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	65 %

(*) El λ_G del tren solo difiere del λ_P en los valores aportados por la locomotora, ya que los de los vagones son iguales.

Solución:

1. Se determina el $\lambda_{P\text{ equivalente}}$ de este tren. Conforme a las tablas del apartado F.2, el tren con $\lambda_G = 75\%$ en régimen G se comporta como un tren con $\lambda_{P\text{ equivalente}} = 62\%$ circulando en régimen P.
2. Se aplica el factor kappa (κ) indicado en el apartado 6.1.1 de esta ET. Para un tren de mercancías en régimen G, de $L_{remolcada} = 700\text{ m}$: $\kappa = 1$, por lo que no se modifica el λ_G del tren.
3. Entrando con el valor de $\lambda_P = 62\%$ del tren equivalente en la tabla de prestaciones mínimas requeridas por el AI, se observa que la velocidad máxima a la que puede circular el tren resulta ser $V_c = 80\text{ km/h}$.

F. 3 .2 EJEMPLO 2

Se desea determinar el λ mínimo para poder circular a la velocidad mínima, por la línea del ejemplo 1, con un tren de mercancías en régimen G de $L_{remolcada} = 700\text{ m}$.

Solución:

El λ_P mínimo solicitado en el ejemplo 1 para circular en régimen P es del 45 % (que permite circular hasta 50 km/h). Por tanto, sería necesario un $\lambda_G = 50\%$, que es el que corresponde a un $\lambda_{P\text{ equivalente}} = 45\%$.

F. 3. 3 EJEMPLO 3

Se desea conocer la distancia de FdE en condiciones degradadas y en horizontal, desde una velocidad inicial de $v_0 = 30 \text{ km/h}$, de un tren en régimen G, con $L_{\text{remolcada}} = 700 \text{ m}$ y $\lambda_G = 50 \%$, en la línea del ejemplo 1.

Solución:

Conforme a lo indicado en el ejemplo 2, las distancias de frenado del tren, circulando en régimen G con un $\lambda_G = 50 \%$ son equivalentes a las de un tren en régimen P con un $\lambda_{P \text{ equivalente}} = 45 \%$. Además, puede circular a una velocidad de 50 km/h (o inferior).

Por lo tanto, para calcular la distancia de parada del tren (G, 700, 50 %) se utiliza el modelo ETCS, con los datos de un tren equivalente de tipo (P,400, 45 %).

Entrando en la tabla C.2.1, con $v_0 = 30 \text{ km/h}$ y $\lambda = 45 \%$, se obtiene una distancia de frenado de 146 m .

F. 3. 4 EJEMPLO 4

Se quiere determinar el λ mínimo para poder circular a la velocidad mínima, por la línea del ejemplo 1, con un tren de mercancías en régimen G de $L_{\text{remolcada}} = 725 \text{ m}$ (considerando una locomotora de longitud 25 m , la longitud total del tren sería 750 m , que es la máxima para poder circular por la RFIG conforme a la [Ref. 04]).

Solución:

Para circular a 30 km/h (y a 50 km/h), un tren en régimen G, de $L_{\text{remolcada}} = 700 \text{ m}$, necesita como mínimo un $\lambda_G = 50 \%$ ($\lambda_{P \text{ equivalente}} = 45 \%$).

Para un tren de $L_{\text{remolcada}} = 725 \text{ m}$: $\kappa = 0,99$. Por tanto, el λ corregido con que debe contar es $\lambda_G = 50/0,99 = 50,505 \% \approx 51 \%$.

Nota: en el hipotético caso de un tren en régimen G de $L_{\text{remolcada}} = 1000 \text{ m}$ (no permitido actualmente por la [Ref. 04]): $\kappa = 0,82$. Por lo que el λ corregido necesario para circular a 50 km/h sería $\lambda_G = 50/0,82 = 61 \%$.

F. 3. 5 EJEMPLO 5

Se desea conocer el $\lambda_{P \text{ equivalente}}$ de un tren en régimen G, con $L_{\text{remolcada}} = 400 \text{ m}$ y las siguientes características:

Locomotora 252:

- Masa frenada en régimen P: 138 t .
- Masa frenada en régimen G: 80 t .
- Peso: 89 t .

Vagones (20):

- Masa frenada en régimen P: 52 t .
- Masa frenada en régimen G: 52 t . (equivalente a régimen P)
- Tara: 24 t .
- Carga máxima: 56 t .

Solución:

Peso total: $89 + 20 \cdot (24 + 56) = 1689 \text{ t}$.

Masa frenada en régimen P: $138 + 20 \cdot 52 = 1178 \text{ t}$.

Masa frenada en régimen G: $80 + 20 \cdot 52 = 1120 \text{ t}$.

$$\lambda_P = 1178/1689 = 0,697 \rightarrow 69 \%$$

$$\lambda_G = 1120/1689 = 0,663 \rightarrow 66 \%$$

En este caso, el tren circulando en régimen G con un $\lambda_G = 66 \%$ es equivalente a un tren circulando en régimen P con un $\lambda_{P \text{ equivalente}} = 57 \%$. Por lo tanto, las distancias de frenado del tren (G,400) con un $\lambda_G = 66 \%$, son equivalentes a las de un tren (P,400) circulando en régimen P con $\lambda_P = 57 \%$.

Nótese que el tren circulando en régimen P, tendría un $\lambda_P = 69 \%$, frente al $\lambda_P = 57 \%$ del tren equivalente.

F. 3. 6 EJEMPLO 6

Se desea saber la velocidad máxima a la que podría circular el tren del ejemplo 5, en una línea donde las prestaciones de frenado mínimas requeridas por el AI para el tren de tipo (P,400) son las siguientes:

	Velocidad (V_c) (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Régimen P	λ_P requerido	45 %	45 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	65 %

Solución:

El tren del ejemplo 5 tiene un $\lambda_G = 66 \%$ y un $\lambda_{P \text{ equivalente}} = 57 \%$. Por lo tanto, podrá circular a una velocidad máxima de 70 km/h.

F. 3. 7 EJEMPLO 7

Se desea determinar la velocidad máxima de circulación de la locomotora descrita en el ejemplo 5, circulando aislada y en régimen G, en una línea donde las prestaciones de frenado mínimas requeridas por el AI para el tren de tipo (P,400) son las siguientes:

	Velocidad (V_c) (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100
Régimen P	λ_P requerido	45 %	45 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	65 %

	Velocidad (V_c) (km/h)	110	120	130	140	150	160
Régimen P	λ_P requerido	75 %	90 %	105 %	120 %	120 %	120 %

Se trata de un ejemplo puramente teórico, puesto que no es presumible que una locomotora vaya a circular nunca aislada en régimen G.

Solución:

La locomotora del ejemplo 5 cuenta con los siguientes λ :

$$\lambda_P = 138/89 = 1,55 \rightarrow 155 \%$$

$$\lambda_G = 80/89 = 0,8988 \rightarrow 89 \%$$

$$\text{Se calcula el } \lambda_{P \text{ equivalente}} = \lambda_G - \Delta\lambda = 89 \% - 16 \% = 73 \%$$

Con este valor de $\lambda_{P \text{ equivalente}}$ la locomotora aislada en régimen G podrá circular a una velocidad de 100 km/h.

EJEMPLOS DE CÁLCULOS DE DISTANCIAS DE FRENADO

G.1 DISTANCIA DE FdE EN CONDICIONES NOMINALES

En este apartado se describe el cálculo de la distancia de FdE en condiciones nominales de un tren Lambda de mercancías, circulando en régimen P, de $L_{remolcada} = 500 \text{ m}$, $\lambda_{ed.3} = 45 \%$ y $V_{max} = 100 \text{ km/h}$, desde la velocidad inicial $v_0 = 30 \text{ km/h}$, en un tramo de declividad media ponderada -20% .

Paso 1: Hay que determinar $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed.6}$. Dado que el tren del ejemplo es de $V_{max} < 120 \text{ km/h}$, conforme al apartado E3.1 de esta ET, se puede suponer que $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed.6} = \lambda_{ed.3}$.

Paso 2: Se aplica el factor kappa (κ) indicado en el apartado 6.1.1 de esta ET. Para un tren de mercancías, en régimen P, de $L_{remolcada} = 500 \text{ m}$: $\kappa = 1$. Luego: $\lambda_{ed.6} = 45 \%$.

Paso 3: Aplicando el modelo de conversión de λ en deceleraciones (ver apartado A.3 de esta ET), la deceleración nominal que corresponde a un $\lambda = 45 \%$ es:

$$d_{r0} = 0,0075 * 45 + 0,076 = 0,4135 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad límite:

$$V_L = \frac{16,85}{3,6} * 45^{0,428} = 23,87 \text{ m/s} \equiv 85,93 \text{ km/h}$$

Por lo tanto, la deceleración calculada es válida para frenadas desde la velocidad inicial del ejemplo $v_0 = 30 \text{ km/h}$ ($8,3333 \text{ m/s}$).

Paso 4: Para el caso de FdE en condiciones nominales, los factores correctores definidos en el apartado 9.1 de esta ET, son: $K_{t_{int}} = K_{r_{int}} = K_{v_{int}} = 1$.

Paso 5: Como el tramo donde se produce la frenada tiene una declividad de -20% , hay que determinar la reducción o aumento de deceleración que supone esta declividad. Aplicando la fórmula del apartado A.6 de esta ET se tiene:

$$d_i = \frac{9,81 * \left(\frac{-20}{1000}\right)}{1,02} = -0,1924 \text{ m/s}^2$$

Paso 6: Para el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno, al haber tenido en cuenta el efecto de la longitud del tren a través del factor kappa (κ), hay que considerar siempre el t_e del tren (P400), que según las expresiones del apartado A.2 de esta ET es de $t_e = 5,02 \text{ s}$.

Paso 7: Al circular el tren en pendiente, su velocidad aumenta durante el tiempo de respuesta equivalente del freno. La velocidad final transcurrido dicho tiempo es:

$$V_{teq} = V_{inicial} - d_i * t_{f0} = 8,3333 + 0,1924 * 5,02 = 9,2979 \text{ m/s} \equiv 33,47 \text{ km/h}$$

Paso 8: Se calcula la distancia de frenado, utilizando la deceleración d_{r0} corregida por la declividad:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_{fin}^2}{2 \cdot a_e}$$

$$S = 8,3333 \cdot 5,02 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1,02} \cdot 9,81 \cdot \left(-\frac{20}{1000}\right) \cdot 5,02^2 + \frac{\left(8,3333 - \frac{9,81 \cdot (-0,02) \cdot 5,02}{1,02}\right)^2}{2 \cdot (0,4135 - 0,1924)}$$

$$S = 41,833 + 2,424 + 195,544 = 239,80 \text{ m} \cong 240 \text{ m}$$

Este valor figura en la tabla del apartado C.1 de esta ET.

G. 2 DISTANCIA DE FdE EN CONDICIONES DEGRADADAS

En este apartado se describe el cálculo de la distancia de FdE en condiciones degradadas de un tren Lambda de mercancías, circulando en régimen G, de $L_{remolcada} = 725 \text{ m}$, $\lambda_{ed,3} = 59 \%$ y $V_{max} = 100 \text{ km/h}$, desde la velocidad inicial $v_0 = 15 \text{ km/h}$, en un tramo de declividad media ponderada -10% .

Paso 1: Hay que determinar $\lambda_{ed,6}$. Dado que el tren del ejemplo es de $V_{max} < 120 \text{ km/h}$, conforme al apartado E.3.1 de esta ET, se puede suponer que $\lambda_{UNE-EN 16834} \equiv \lambda_{ed,6} = \lambda_{ed,3} = 59 \%$ [corresponde al tren (G, 725)].

Paso 2: Se aplica el factor kappa (κ) indicado en el apartado 6.1.1 de esta ET. Para un tren de mercancías, en régimen G, de $L_{remolcada} = 725 \text{ m}$: $\kappa = 0,99$. Luego: $\lambda_{ed,6} = 59 \% \cdot 0,99 = 58,41 \% \approx 58 \%$ [corresponde al tren (G, 700)].

Paso 3: Se determina el λ de un tren equivalente de tipo (P400) cuya distancia de frenado sea idéntica. De la tabla del apartado F.2 de esta ET se deduce que un $\lambda_G = 58 \%$ equivale a un $\lambda_P = 50 \%$. Será con este valor $\lambda_{ed,6} = 50 \%$ con el que se realicen los cálculos, siendo las distancias resultantes válidas para los trenes (P, 400 m, 50 %), (G, 700 m, 58 %) y (G, 725 m, 59 %).

Paso 4: Aplicando el modelo de conversión de λ en deceleraciones (ver apartado A.3 de esta ET), la deceleración nominal que corresponde a un $\lambda = 50 \%$ es:

$$d_{r0} = 0,0075 \cdot 50 + 0,076 = 0,451 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad límite:

$$V_L = \frac{16,85}{3,6} \cdot 50^{0,428} = 24,9721 \text{ m/s} \cong 89,89 \text{ km/h}$$

Por lo tanto, la deceleración calculada es válida para frenadas desde la velocidad inicial del ejemplo $v_0 = 15 \text{ km/h}$ (4,1667 m/s).

Paso 5: Para el caso de FdE en condiciones degradadas, los factores correctores definidos en el apartado 9.2 de esta ET, para velocidades menores o iguales a 160 km/h , son: $K_{t,int} = 1$ y $K_{r,int} \cdot K_{v,int} = 0,81$.

$$d'_{p,0} = 0,81 \cdot 0,451 = 0,3653 \text{ m/s}^2$$

Paso 6: Se comprueba que esta deceleración no supera el límite máximo por adherencia, fijado en esta ET en $0,9 \text{ m/s}^2$, lo cual se cumple. Por tanto:

$$d_{p,0} = d'_{p,0} = 0,3653 \text{ m/s}^2$$

Paso 7: Como el tramo donde se produce la frenada tiene una declividad de -10% , hay que determinar la reducción o aumento de aceleración que supone esta declividad. Aplicando la fórmula del apartado A.6 de esta ET se tiene:

$$d_i = \frac{9,81 * \left(\frac{-10}{1000}\right)}{1,02} = -0,0962 \text{ m/s}^2$$

Paso 8: Para el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno, al haber tenido en cuenta el efecto de la longitud del tren a través del factor kappa (κ), hay que considerar siempre el t_e del tren (P,400), que según las expresiones del apartado A.2 de esta ET es de $t_e = 5,02 \text{ s}$.

Paso 9: Al circular el tren en pendiente, su velocidad aumenta durante el tiempo de respuesta equivalente del freno. La velocidad final transcurrido dicho tiempo es:

$$V_{teq} = V_{inicial} - d_i * t_{f0} = 4,1667 + 0,0962 * 5,02 = 4,6497 \text{ m/s} \equiv 16,73 \text{ km/h}$$

Paso 10: Se calcula la distancia de frenado, utilizando la deceleración d_{p0} corregida por la declividad:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_{fin}^2}{2 \cdot a_e}$$

$$S = 4,1667 * 5,02 - \frac{1}{2} * \frac{1}{1,02} * 9,81 * \left(-\frac{10}{1000}\right) * 5,02^2 + \frac{\left(4,1667 - \frac{9,81 * (-0,01) * 5,02}{1,02}\right)^2}{2 * (0,3653 - 0,0962)}$$

$$S = 20,917 + 1,212 + 40,167 = 62,29 \text{ m} \approx 62 \text{ m}$$

Este valor figura en la tabla del apartado C.2.2 de esta ET.

G. 3 DISTANCIA DE FdS HASTA PARADA

En este apartado se describe el cálculo de la distancia de FdS de un tren Lambda de pasajeros, circulando en régimen P, de $L_{remolcada} = 500 \text{ m}$, $\lambda_{ed,3} = 167 \%$ y $V_{max} = 200 \text{ km/h}$, desde la velocidad inicial $v_0 = 160 \text{ km/h}$, en un tramo de declividad media ponderada $+15 \%$.

Paso 1: Hay que determinar $\lambda_{ed,6}$. Dado que el tren del ejemplo es de $V_{max} > 120 \text{ km/h}$, de acuerdo con la tabla del apartado E.4.3 de esta ET, un $\lambda_{ed,3} = 167 \%$ equivale a un $\lambda_{ed,6} = 142 \%$.

Paso 2: Se aplica el factor kappa (κ) indicado en el apartado 6.1.1 de esta ET. Para un tren de pasajeros, en régimen P, de $L_{remolcada} = 500 \text{ m}$: $\kappa = 0,92$. Luego: $\lambda_{ed,6} \text{ (corregido)} = 142 * 0,92 = 130,64 \% \approx 130 \%$.

Nota: Los factores Kappa establecidos en la [Ref.11] son directamente aplicables a los λ_6 . No se indica expresamente que puedan ser aplicados a los λ_v .

Paso 3: Aplicando el modelo de conversión de λ en deceleraciones (ver apartado A.3 de esta ET), la deceleración nominal que corresponde a un $\lambda = 130 \%$ es:

$$d_{r0} = 0,0075 * 130 + 0,076 = 1,051 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad límite:

$$V_L = \frac{16,85}{3,6} * 130^{0,428} = 37,5894 \text{ m/s} \equiv 135,32 \text{ km/h}$$

Se observa que la deceleración $d_{r,0}$ es válida solo hasta la velocidad de 135,32 km/h. Como la frenada se inicia a una velocidad superior, es necesario calcular, al menos, un escalón más de deceleración.

Como la V_L se encuentra entre 120 y 150 km/h, la fórmula a utilizar para calcular el siguiente escalón es:

$$d_{r,3} = a_{3,3} \lambda^3 + a_{2,3} \lambda^2 + a_{1,3} \lambda + a_{0,3}$$

con: $a_{3,3} = 5,58 * 10^{-8}$; $a_{2,3} = -6,76 * 10^{-6}$; $a_{1,3} = 5,81 * 10^{-3}$; $a_{0,3} = 0,0479$

$$d_{r,3} = 0,8115 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida solo hasta la velocidad de 150 km/h (41,6667 m/s), por lo que habrá que calcular, al menos, un escalón más de deceleración:

$$d_{r,4} = a_{3,4} \lambda^3 + a_{2,4} \lambda^2 + a_{1,4} \lambda + a_{0,4}$$

con: $a_{3,4} = 3,00 * 10^{-8}$; $a_{2,4} = -3,85 * 10^{-6}$; $a_{1,4} = 5,52 * 10^{-3}$; $a_{0,4} = 0,0480$

$$d_{r,4} = 0,7664 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad de 180 km/h > 160 km/h, y por lo que NO es necesario calcular más escalones de deceleración.

Paso 4: Para el caso de FdS, los factores correctores definidos en el apartado 9.3 de esta ET, para velocidades menores o iguales a 160 km/h, son $K_{t_{int}} = 1$ y $K_{r_{int}} * K_{v_{int}} = 0,81$.

$$d'_{p,0} = 0,81 * d_{r,0} = 0,81 * 1,051 = 0,8513 \text{ m/s}^2$$

$$d'_{p,3} = 0,81 * d_{r,3} = 0,81 * 0,8115 = 0,6573 \text{ m/s}^2$$

$$d'_{p,4} = 0,81 * d_{r,4} = 0,81 * 0,7664 = 0,6208 \text{ m/s}^2$$

Paso 5: Se comprueba que ninguna de estas deceleraciones supera el límite máximo por adherencia, fijado en esta ET en 0,9 m/s², lo cual se cumple. Por tanto:

$$d_{p,0} = 0,8513 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,3} = 0,6573 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,4} = 0,6208 \text{ m/s}^2$$

Paso 6: Como el tramo en el que se produce la frenada tiene una declividad de +15%, hay que determinar la reducción o aumento de aceleración que supone esta declividad. Aplicando la fórmula del apartado A.6 de esta ET se obtiene:

$$d_i = \frac{9,81 * \left(\frac{15}{1000}\right)}{1,15} = 0,128 \text{ m/s}^2$$

Paso 7: Para el tiempo de respuesta equivalente (t_e) del freno, al haberse tenido en cuenta el efecto de la longitud del tren a través del factor kappa (κ), hay que considerar siempre el t_e del tren (P,400), que según las expresiones del apartado A.2 de esta ET es de $t_e = 5,02$ s.

Paso 8: Al circular el tren en rampa, su velocidad disminuirá durante este tiempo de respuesta equivalente del freno. La velocidad final transcurrido dicho tiempo es:

$$V_{teq} = V_{inicial} - d_i \cdot t_{fo} = 44,4444 - 0,128 \cdot 5,02 = 43,8018 \text{ m/s} \equiv 157,68 \text{ km/h}$$

Paso 9: Se calcula la distancia de frenado, utilizando la deceleración d_{p0} corregida por la declividad:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_j^2}{2 \cdot a_{e,j}} + \frac{v_j^2 - v_{j+1}^2}{2 \cdot a_{e,j+1}} + \dots + \frac{v_{n-1}^2 - v_n^2}{2 \cdot a_{e,n}}$$

$$S = 44,4444 \cdot 5,02 - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1,15} \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{15}{1000}\right) \cdot 5,02^2 + \frac{\left(44,4444 - \frac{9,81 \cdot 0,015 \cdot 5,02}{1,15}\right)^2 - 41,6667^2}{2 \cdot (0,6208 + 0,128)} + \frac{41,6667^2 - 37,5894^2}{2 \cdot (0,6573 + 0,128)} + \frac{37,5894^2}{2 \cdot (0,8513 + 0,128)}$$

$$S = 223,111 - 1,612 + 121,870 + 205,748 + 721,415 = 1270,532 \text{ m}$$

Paso 10: A esta distancia hay que añadir la recorrida por el tren durante el tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s:

$$S_{frenado \text{ servicio}} = 1270,532 + 4 \cdot 44,4444 = 1448,31 \text{ m} \equiv 1448 \text{ m}$$

G.4 DISTANCIA DE FdS PARA REDUCCIÓN DE VELOCIDAD

En este apartado se describe el cálculo de la distancia de FdS para reducción de velocidad de una locomotora, circulando en régimen P, con $\lambda_{ed,3} = 155 \%$ y $V_{max} = 250 \text{ km/h}$, desde la velocidad inicial $v_0 = 200 \text{ km/h}$ hasta la velocidad objetivo (v_{fin}) de 30 km/h , en un tramo de declividad media ponderada -30% .

Paso 1: Hay que determinar $\lambda_{ed,6}$. De acuerdo con la tabla del apartado E.4.3 el valor estimado que corresponde a un $\lambda_{ed,3} = 155 \%$ es $\lambda_{ed,6} = 134 \%$. Los valores de distancia de frenado resultantes de utilizar $\lambda_{ed,6}$ pueden ser afinados si se utilizan en su lugar los λ_v a cada velocidad de inicio de frenado, tal y como se indica en el apartado 7 de esta ET. En este ejemplo se muestra la realización de los cálculos de acuerdo a esta opción.

Paso 2: Hay que determinar el valor del λ a la velocidad de 200 km/h (λ_{200}). En caso de que se tuviera el dato real procedente de los ensayos de frenado, se utilizaría directamente. Como no hay datos, se estimará su valor de acuerdo con la tabla del apartado E.4.3 de esta ET, en la que un $\lambda_{ed,3} = 155 \%$ equivale a un $\lambda_{200} = 155 \%$.

Paso 3: Aplicando el modelo de conversión de λ en deceleraciones (ver apartado A.3 de esta ET), la deceleración nominal que corresponde a un $\lambda_{200} = 155 \%$ es:

$$d_{r0} = 0,0075 \cdot 155 + 0,076 = 1,2385 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad límite:

$$V_L = \frac{16,85}{3,6} \cdot 155^{0,428} = 40,5283 \text{ m/s} \equiv 145,90 \text{ km/h}$$

Se observa que la deceleración d_{r0} es válida solo hasta la velocidad de $145,90 \text{ km/h}$. Como la frenada se inicia a una velocidad superior, es necesario calcular, al menos, un escalón más de deceleración:

Como la V_L se encuentra entre 120 y 150 km/h , la fórmula a utilizar para calcular el siguiente escalón es:

$$d_{r,3} = a_{3,3} \lambda^3 + a_{2,3} \lambda^2 + a_{1,3} \lambda + a_{0,3}$$

$$\text{con: } a_{3,3} = 5,58 * 10^{-8}; \quad a_{2,3} = -6,76 * 10^{-6}; \quad a_{1,3} = 5,81 * 10^{-3}; \quad a_{0,3} = 0,0479$$

$$d_{r,3} = 0,9938 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida solo hasta la velocidad de 150 km/h (41,6667 m/s), por lo que habrá que calcular, al menos, un escalón más de deceleración:

$$d_{r,4} = a_{3,4} \lambda^3 + a_{2,4} \lambda^2 + a_{1,4} \lambda + a_{0,4}$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad de 150 km/h (41,6667 m/s), por lo que habrá que calcular, al menos, un escalón más de deceleración:

$$d_{r,4} = a_{3,4} \lambda^3 + a_{2,4} \lambda^2 + a_{1,4} \lambda + a_{0,4}$$

$$\text{con: } a_{3,4} = 3,00 * 10^{-8}; \quad a_{2,4} = -3,85 * 10^{-6}; \quad a_{1,4} = 5,52 * 10^{-3}; \quad a_{0,4} = 0,0480$$

$$d_{r,4} = 0,9228 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta la velocidad de 180 km/h (50 m/s), por lo que habrá que calcular un escalón más de deceleración:

$$d_{r,5} = a_{3,5} \lambda^3 + a_{2,5} \lambda^2 + a_{1,5} \lambda + a_{0,5}$$

$$\text{con: } a_{3,5} = 3,23 * 10^{-9}; \quad a_{2,5} = 1,66 * 10^{-6}; \quad a_{1,5} = 5,06 * 10^{-3}; \quad a_{0,5} = 0,0559$$

$$d_{r,5} = 0,8921 \text{ m/s}^2$$

Esta deceleración es válida hasta 200 km/h (55,5555 m/s).

Paso 4: Para el caso de FdS en reducción de velocidad, los factores correctores definidos en el apartado 9.4 de esta ET, para velocidades menores o iguales a 160 km/h son: $K_{t,int} = 1$ y $K_{r,int} * K_{v,int} = 0,81$, y para velocidades superiores a 160 km/h son: $K_{t,int} = 1$ y $K_{r,int} * K_{v,int} = 0,70$.

$$d'_{p,0} = 0,81 * d_{r,0} = 0,81 * 1,2385 = 1,0032 \text{ m/s}^2 \quad (\text{desde } 30 \text{ km/h hasta } 145,9 \text{ km/h})$$

$$d'_{p,3} = 0,81 * d_{r,3} = 0,81 * 0,9938 = 0,8050 \text{ m/s}^2 \quad (\text{desde } 145,9 \text{ km/h hasta } 150 \text{ km/h})$$

$$d'_{p,4.1} = 0,81 * d_{r,4} = 0,81 * 0,9228 = 0,7475 \text{ m/s}^2 \quad (\text{desde } 150 \text{ km/h hasta } 160 \text{ km/h})$$

$$d'_{p,4.2} = 0,70 * d_{r,4} = 0,70 * 0,9228 = 0,6460 \text{ m/s}^2 \quad (\text{desde } 160 \text{ km/h hasta } 180 \text{ km/h})$$

$$d'_{p,5} = 0,70 * d_{r,5} = 0,70 * 0,8921 = 0,6245 \text{ m/s}^2 \quad (\text{desde } 180 \text{ km/h hasta } 200 \text{ km/h})$$

Paso 5: Hay que comprobar que ninguna de estas deceleraciones supera el límite máximo por adherencia, fijado en esta ET en 0,9 m/s^2 y, en caso contrario, limitarla a dicho valor. Se comprueba que en el primer escalón de velocidad es necesario aplicar dicha limitación:

$$d_{p,0} = 0,9000 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,3} = 0,8050 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,4.1} = 0,7475 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,4.2} = 0,6460 \text{ m/s}^2$$

$$d_{p,5} = 0,6245 \text{ m/s}^2$$

Paso 6: Como el tramo en el que se produce la frenada tiene una declividad de -30 ‰, hay que determinar la reducción o aumento de aceleración que supone esta declividad. Aplicando la fórmula del apartado A.6 de esta ET se obtiene:

$$d_i = \frac{9,81 * \left(\frac{-30}{1000}\right)}{1,02} = -0,2885 \text{ m/s}^2$$

Paso 7: Al tratarse de un tren de tipo (P400), el tiempo de respuesta equivalente del freno, es $t_e = 5,02 \text{ s}$. Dado que se está calculando un FdS en reducción de velocidad, el t_e debe multiplicarse por un factor corrector de valor 1,2, según se indica en el apartado 9.4 de esta ET.

Paso 8: Al circular el tren en pendiente, su velocidad aumentará durante este tiempo de respuesta equivalente del freno. La velocidad final transcurrido dicho tiempo es:

$$V_{teq} = V_{inicial} - d_i * t_{f0} = 55,5555 + 0,2885 * 5,02 * 1,2 = 57,2935 \text{ m/s} \cong 206,25 \text{ km/h}$$

Paso 9: Se calcula la distancia de frenado en reducción de velocidad, utilizando la deceleración corregida por la declividad:

$$s_{grad} = v_0 \cdot t_e - \frac{1}{2} \cdot \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e^2 + \frac{\left(v_0 - \frac{m_{st}}{m_{dyn}} \cdot g_n \cdot i \cdot t_e\right)^2 - v_j^2}{2 \cdot a_{e,j}} + \frac{v_j^2 - v_{j+1}^2}{2 \cdot a_{e,j+1}} + \dots + \frac{v_{n-1}^2 - v_n^2}{2 \cdot a_{e,n}}$$

$$\begin{aligned} S &= 55,5555 * 5,02 * 1,2 - \frac{1}{2} * \frac{1}{1,02} * 9,81 * \left(\frac{-30}{1000}\right) * (5,02 * 1,2)^2 \\ &+ \frac{\left(55,5555 - \frac{9,81 * (-0,03) * 5,02 * 1,2}{1,02}\right)^2 - 50,0000^2}{2 * (0,6245 - 0,2885)} + \frac{50,0000^2 - 44,4444^2}{2 * (0,646 - 0,2885)} \\ &+ \frac{44,4444^2 - 41,6667^2}{2 * (0,7475 - 0,2885)} + \frac{41,6667^2 - 40,5283^2}{2 * (0,805 - 0,2885)} + \frac{40,5283^2 - 8,3333^2}{2 * (0,900 - 0,2885)} \end{aligned}$$

$$S = 334,663 + 5,235 + 1.164,519 + 733,839 + 260,556 + 90,582 + 1286,263 = 3.875,66 \text{ m}$$

Paso 10: A esta distancia hay que añadir la recorrida por el tren durante el tiempo de reacción del maquinista ($t_{response}$) de 4 s:

$$S_{frenado \text{ servicio}} = 3.875,66 + 4 * 55,5555 = 4.097,88 \cong 4.098 \text{ m}$$

Paso 11: Conforme al apartado 9.4 de esta ET, hay que comprobar que esta distancia de reducción de velocidad desde 200 km/h hasta 30 km/h no supera la distancia de parada desde la misma velocidad inicial de $v_0 = 200 \text{ km/h}$, que es de $4.049 \text{ m} < 4.098 \text{ m}$. En caso contrario se limita a dicho valor, por lo que:

$$S_{frenado \text{ servicio}} = 4.049 \text{ m}$$

COMPARACIÓN DE ESTA ET CON NTC 020.95 Y ETI DE MATERIAL RODANTE (2002/2008)

H. 1 AJUSTE DEL MODELO UTILIZADO EN ESTA ET

Para calibrar el modelo de cálculo establecido en la presente ET (mediante la determinación de los factores correctores más adecuados), así como evaluar el impacto de su adopción, se ha realizado una comparación entre las distancias de FdS obtenidas del modelo y las de la tabla 2 de la NTC 020.95, para cada velocidad y declividad.

Para ajustar el modelo por encima de 160 km/h se han comparado las distancias de señalización existentes en tramos de 200 km/h con las proporcionadas por el modelo. Para las primeras, se ha tenido en cuenta el criterio de frenado en "doble cantón", utilizado en las líneas de tráfico convencional por encima de 160 km/h, donde para reducir la velocidad de 200 km/h a 160 km/h se utiliza una distancia equivalente a la de parada desde 160 km/h.

Además, para ajustar el modelo por encima de 160 km/h se ha tenido en cuenta también el efecto del aumento de las distancias de frenado que introduce la actuación de los sistemas anti-deslizamiento (el efecto de estos sistemas por la elevada potencia de frenado se tiene en cuenta a través del factor $A_{MAXADHAV}$).

A través de un proceso iterativo de comparación se ha llegado a establecer un factor de corrección $K_{r,int} * K_{v,int} = 0,81$ para velocidades menores o iguales a 160 km/h.

Asimismo, se ha establecido un valor de $K_{r,int} * K_{v,int} = 0,70$ para velocidades superiores a 160 km/h.

H.2 COMPARACIÓN DE DISTANCIAS DE FRENADO DESDE VELOCIDADES MÁXIMAS ≤ 160 KM/H

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre las distancias obtenidas con los modelos de NTC 020.95 y de la presente ET, considerando en ambos casos los λ recogidos en la NTC 020.95 y Manual de Circulación de Renfe, edición 3, para cada velocidad.

El valor de cada celda refleja la diferencia entre la distancia obtenida con el modelo de cálculo de la NTC 020.95 (tabla 2) y la distancia de FdS obtenida con la metodología de esta ET. Un valor negativo indica que con el modelo empleado en esta ET se obtiene una distancia mayor que con la NTC 020.95.

Se observa que para declividades positivas (rampas) ambos modelos conducen a distancias muy parecidas.

Para las declividades negativas (pendientes), se observan dos zonas:

1. Zona de $v \leq 80$ km/h. Las diferencias son más grandes cuanto mayor es la pendiente. El propio modelo ya alerta sobre su utilización en el caso de combinación de λ bajos con pendientes altas (a este respecto se puede consultar el apartado B.2 de la presente ET). Por ello, no se han tenido en cuenta las diferencias en este rango de velocidades a la hora de ajustar los parámetros del modelo.
2. Zona de 90 km/h $\leq v \leq 160$ km/h. La correlación es muy buena y ambos modelos proporcionan distancias de frenado prácticamente equivalentes.

DIFERENCIAS ENTRE DISTANCIAS DE PARADA DE NTC.020.95 Y ETFR													
Velocidad (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
λ (%)	35%	40%	45%	55%	65%	65%	75%	90%	105%	120%	120%	120%	
DECLIVIDAD (%)	20	186	89	-15	-41	-8	-16	-15	-6	-7	3	6	-5
	19	181	82	-23	-39	-6	-16	-15	-5	-7	4	5	-8
	18	175	76	-30	-37	-15	-16	-15	-5	-7	-6	4	-1
	17	170	69	-38	-36	-13	-17	-16	-4	-7	-6	2	-5
	16	164	62	-37	-45	-12	-8	-17	-4	-7	-5	1	-9
	15	158	54	-46	-43	-12	-9	-18	5	-7	-6	9	-3
	14	152	47	-45	-43	-11	-10	-9	5	-8	-6	7	-7
	13	145	39	-44	-42	-11	-12	-11	4	-9	4	4	-2
	12	138	30	-44	-42	-11	-14	-13	3	-10	3	1	-7
	11	131	22	-54	-53	-11	-7	-16	2	-12	2	8	-3
	10	124	13	-55	-53	-12	-10	-9	0	-3	1	5	1
	9	116	3	-56	-54	-13	-13	-12	8	-5	0	11	-5
	8	108	-7	-57	-56	-14	-7	-16	6	-8	-2	8	-2
	7	99	-17	-59	-57	-6	-11	-10	4	-10	-4	13	1
	6	90	-28	-61	-60	-8	-6	-14	11	-3	4	9	4
	5	80	-40	-65	-52	-10	-11	-9	8	-7	1	14	-4
	4	70	-52	-68	-56	-3	-7	-4	14	-10	-1	9	-2
	3	59	-54	-63	-59	-7	-3	-10	10	-4	6	13	-1
	2	48	-58	-68	-64	-1	0	-7	16	-8	2	17	0
	1	36	-62	-73	-59	-5	2	-3	21	-3	9	21	0
	0	23	-66	-70	-64	0	4	-1	16	-8	5	14	10
	-1	8	-64	-80	-63	-8	3	-1	18	-6	9	14	6
	-2	-9	-73	-80	-72	-6	1	-3	19	-4	2	14	1
	-3	-27	-83	-83	-73	-5	-3	-5	19	-12	5	14	-4

DIFERENCIAS ENTRE DISTANCIAS DE PARADA DE NTC.020.95 Y ETFR													
Velocidad (km/h)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	
λ (%)	35%	40%	45%	55%	65%	65%	75%	90%	105%	120%	120%	120%	
DECLIVIDAD (%)	-4	-46	-85	-96	-74	-5	3	-7	19	-12	-3	12	-1
	-5	-67	-88	-101	-87	-6	-3	-1	17	-11	-1	10	-8
	-6	-90	-93	-108	-91	-8	0	-6	15	-12	1	17	-6
	-7	-95	-101	-107	-96	-1	2	-2	12	-13	1	14	-5
	-8	-103	-110	-119	-103	-6	2	1	19	-15	2	10	-15
	-9	-113	-122	-132	-102	-1	0	2	14	-18	-9	15	-16
	-10	-127	-127	-138	-112	2	7	3	18	-22	-10	9	-19
	-11	-134	-136	-147	-115	4	2	1	21	-26	-11	12	-22
	-12	-146	-148	-160	-119	4	5	-1	13	-21	-4	5	-17
	-13	-163	-165	-167	-127	2	6	5	14	-28	-7	6	-23
	-14	-177	-177	-178	-136	8	14	-1	13	-25	-11	7	-31
	-15	-199	-196	-194	-149	3	10	1	21	-24	-16	6	-30
	-16	-221	-221	-216	-156	15	23	11	38	-4	-11	4	-40
	-17	-255	-236	-235	-166	14	23	9	43	5	-8	1	-43
	-18	-295	-272	-253	-170	21	29	14	56	23	15	7	-47
	-19	-336	-302	-280	-190	25	31	27	77	49	46	1	-53
	-20	-396	-338	-309	-195	36	39	47	106	84	86	4	-52
	-21	-496	-396	-352	-197	32	33	54	123	107	116	-4	-63
	-22	-633	-473	-403	-196	25	31	68	147	138	153	-15	-76
	-23	-831	-579	-476	-203	23	33	87	178	178	200	-17	-92
-24	-1149	-718	-557	-201	25	28	103	207	215	245	-31	-110	
-25	-1685	-825	-615	-151	22	25	124	242	260	299	-37	-132	

H.3 COMPARACIÓN DE DISTANCIAS DE FRENADO DESDE VELOCIDADES > 160 km/h

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre las distancias de FdS obtenidas con el modelo de la NTC 020.95 y el de la presente ET, considerando en ambos casos un valor de $\lambda = 135\%$.

Para realizar la comparación se ha considerado que en los tramos con señalización instalada conforme a la NTC 020.95, un tren circulando a una velocidad de 200 km/h dispone para detenerse de una distancia igual a la longitud de dos cantones, cada uno de ellos con la longitud correspondiente a la distancia de FdS desde 160 km/h hasta parada (tabla 3 de la NTC 020.95), más una distancia de visualización de la señal de 300 m. Como ejemplo, en vía horizontal, se dispondría de: $300+2*1500=3300$ m.

Además, el primer cantón se utiliza para reducir la velocidad del tren desde 200 hasta 160 km/h, mientras que en el segundo sirve para detener el tren desde esta última velocidad. Como ejemplo, en el caso de vía horizontal, para reducir la velocidad desde 200 a 160 km/h se dispondría de: $300+1500=1800$ m.

Así pues, en la primera columna de la tabla, para cada declividad, el valor de cada celda se ha obtenido restando a la distancia actualmente disponible para el FdS desde 200 km/h hasta la parada, (es decir, 300 m más el doble de la distancia de la tabla 3 de la NTC 020.95 para FdS desde 160 km/h), la distancia de FdS desde 200 km/h obtenida con el modelo de cálculo de esta ET. Un valor negativo en una celda indica que con el modelo empleado en esta ET se obtiene una distancia de FdS mayor que con la NTC 020.95.

En la segunda columna, para cada declividad, el valor de cada celda se ha obtenido restando a la distancia actualmente disponible para el FdS desde 200 km/h hasta 160 km/h (es decir, 300 m más la distancia de la tabla 3 de la NTC 020.95 para FdS desde 160 km/h), la distancia de FdS para reducción de velocidad desde 200 hasta 160 km/h obtenida con el modelo de cálculo de esta ET. Un valor negativo indica que con el modelo empleado en esta ET se obtiene una distancia de frenado mayor que con la NTC 020.95.

DIFERENCIAS ENTRE DISTANCIAS DE PARADA DE NTC 020.95 Y ETFR			
	Desde 200 km/h hasta parada	Reducción de velocidad de 200 a 160 km/h	
λ (%)	135%	135%	
DECLIVIDAD (%)	20	415	215
	19	414	213
	18	433	220
	17	432	217
	16	430	213
	15	447	220
	14	444	216
	13	460	221
	12	456	217
	11	471	222

DIFERENCIAS ENTRE DISTANCIAS DE PARADA DE NTC 020.95 Y ETFR			
	Desde 200 km/h hasta parada	Reducción de velocidad de 200 a 160 km/h	
λ (%)	135%	135%	
DECLIVIDAD (‰)	10	486	226
	9	480	220
	8	494	224
	7	506	227
	6	518	229
	5	510	221
	4	520	223
	3	530	224
	2	539	225
	1	548	225
	0	575	234
	-1	577	230
	-2	578	225
	-3	577	219
	-4	596	222
	-5	593	214
	-6	608	215
	-7	622	215
	-8	614	203
	-9	624	200
	-10	633	196
-11	640	190	
-12	664	193	
-13	667	184	
-14	667	174	
-15	684	171	

DIFERENCIAS ENTRE DISTANCIAS DE PARADA DE NTC 020.95 Y ETFR			
	Desde 200 km/h hasta parada	Reducción de velocidad de 200 a 160 km/h	
λ (%)	135%	135%	
DECLIVIDAD (‰)	-16	679	156
	-17	691	149
	-18	700	140
	-19	706	128
	-20	728	123
	-21	726	105
	-22	721	84
	-23	711	59
	-24	696	31
	-25	676	-2

H. 4 FRENO DE SERVICIO EN ETIS DE MATERIAL RODANTE DE 2002 Y 2008

Según se ha indicado en el apartado 4 de esta ET, el FdS puede compartir o no parte de sus elementos con el FdE y es regulable en su aplicación.

El apartado 5.2.1 de la [Ref. 01] solo recomienda evaluar las prestaciones del FdS en trenes de Alta Velocidad. Asimismo, indica que, para evaluarlo se utilizarán dos intensidades de aplicación: "FdS máximo" y "FdS normal", este último con un valor de 2/3 del "FdS máximo".

Las ETI de Material Rodante de Alta Velocidad de 2002 [Ref. 13] y 2008 [Ref. 14] establecieron prestaciones mínimas para el FdS, sin embargo, la ETI Loc & Pas de 2014 [Ref. 03] no las incluyó.

Las deceleraciones mínimas establecidas en el apartado 4.3.7 de la [Ref. 13] fueron las siguientes:

Cuadro 4.3.7

Modo de frenado	t_e [s]	Deceleración mínima en las condiciones de frenado predeterminadas (m/s^2)			
		330 - 300 (km/h)	300 - 230 (km/h)	230 - 170 (km/h)	170 - 0 (km/h)
Freno de servicio normal	2	0,35	0,35	0,6	0,6

t_e [s] = tiempo de retardo equivalente de la aplicación

Estas deceleraciones se mantuvieron casi de manera idéntica en el apartado 4.2.4.4 de la [Ref. 14]:

Tabla 8
Deceleración media mínima para el frenado de servicio

Modo de frenado	t_e	Deceleración media mínima medida entre el final de t_e y la velocidad objetivo [m/s^2]			
	[s]	350 - 300 (km/h)	300 - 230 (km/h)	230 - 170 (km/h)	170 - 0 (km/h)
Frenado de servicio	2	0,30	0,35	0,6	0,6

t_e [s] = Tiempo equivalente de aplicación

Además, en la Nota 2 del apartado 4.2.4.1, hay una referencia a esta tabla indicando que se trata de "condiciones de frenado de servicio normal".

Comparando esta última tabla con la anterior, se observa:

- Un aumento del rango de velocidades desde 330 a 350 km/h.
- Una reducción de la deceleración exigida (de 0,35 a 0,30 m/s^2), en el rango de [300, 350] km/h.

En resumen, las prestaciones de "FdS máximo" estimadas conforme al apartado 5.2.1 de la [Ref. 01], para trenes que cumplan las [Ref. 13] y [Ref. 14], serían:

Deceleración media para el FdS "máximo"

Modo de frenado	t_e	Deceleración media (m/s^2) medida entre el final de t_e y en momento de alcanzar la velocidad objetivo, v_{fin}			
	[s]	350 - 300 (km/h)	300 - 230 (km/h)	230 - 170 (km/h)	170 - 0 (km/h)
Frenado de servicio "máximo"	2	0,45	0,525	0,9	0,9

t_e [s] = Tiempo de respuesta equivalente del FdS

Nota: en la EN-15734-1 también se define el "FdS normal" como 2/3 del "FdS máximo".

A continuación, se exponen diferentes escenarios donde se contrasta la coherencia de estos valores de "FdS normal" y "FdS máximo":

- El apartado 4.2.5 de la ETI de infraestructura [Ref. 15], permite el diseño de líneas de AV con pendientes de hasta 35%. La circulación por estas pendientes a velocidades superiores a 230 km/h exige una utilización del FdS superior al normal, es decir, se necesitan deceleraciones mayores de (0,30 - 0,35 m/s^2) para mantener o reducir la velocidad del tren.
- Para una velocidad de 160 km/h, $\lambda = 120$ % y una pendiente del -25%, la distancia de FdS, según la tabla 2 de la NTC 020.95, es 2.620 m. Para que el tren frenara en esta distancia sería necesario un $t_e = 2$ s y una $a_e = 0,65$ m/s^2 . Estas prestaciones se encuentran en el rango entre el "FdS normal" y el "FdS máximo".
- Según la [Ref. 12] de ASFA - AV digital, el control de Anuncio de Parada (frecuencia L1) impone una Velocidad de Control (VC) al pasar de 200 a 100 km/h, utilizando un FdS con un $t_e = 7,5$ s y una $a_e = 0,55$ m/s^2 . Estas prestaciones se traducen en la necesidad de pasar de 200 a 100 km/h con FdS en una distancia de 2.521,04 m, independientemente de la declividad. Esto equivale a $t_e = 2$ s y una $a_e = 0,79$ m/s^2 para no llegar a la VC.

Por otro lado, la curva de intervención de FdE (IF) está establecida por el ASFA - AV en un $t_e = 9$ s y una $a_e = 0,5$ m/s^2 . Estas prestaciones se traducen en la necesidad de pasar de 200

a 100 km/h con FdS en una distancia de 2.814,81 m, independientemente de la declividad. Esto equivale a $t_e = 2$ s y una $a_e = 0,73$ m/s² para no llegar a la IF.

Para los tres ejemplos presentados, las deceleraciones de FdS requeridas se encuentran en el rango proporcionado por un tren que cumpla las [Ref. 13] y [Ref. 14], es decir, entre 0,6 m/s² (FdS normal) y 0,9 m/s² (FdS máximo).

H.5 COMPARACIÓN DE DISTANCIAS DE FdS ENTRE LA ET Y LA ETI MR 2008

En este apartado se analiza si las distancias de FdS obtenidas aplicando esta ET a un tren Gamma, cuyas prestaciones de FdE cumplan la [Ref. 13] y la [Ref. 14], son compatibles con las de un tren con prestaciones de FdS conformes con dichas [Ref. 13] y [Ref. 14].

Las prestaciones de FdE para este tipo de tren, según las referencias anteriores, son las siguientes:

Tabla 6
Características mínimas de frenado

Modo de frenado	t_e [s]	Deceleración media mínima medida entre el final de t_e y la velocidad objetivo [m/s]			
		350 - 300 (km/h)	300 - 230 (km/h)	230 - 170 (km/h)	170 - 0 (km/h)
Caso A – Frenado de emergencia con determinados equipos aislados	3	0,75	0,9	1,05	1,2
Caso B - Frenado de emergencia con determinados equipos aislados y condiciones climáticas desfavorables	3	0,60	0,7	0,8	0,9

Según el ejemplo E.6.1 de esta ET, el λ estimado para un tren con estas prestaciones es $\lambda_{ed,6} = 151$ %.

Entrando con $\lambda = 151$ % en las fórmulas establecidas en esta ET, se obtienen las distancias de FdS de la tabla 8 del apartado C.9. Una vez analizadas se observa que estas distancias son equivalentes a las que tendría un tren cuyo FdS tuviera un $t_e = 2$ s y una $a_e = 0,78$ m/s². Esta deceleración está en el rango comprendido entre el "FdS normal" (0,6 m/s²) y el "FdS máximo" de la [Ref. 13] y de la [Ref. 14]. En consecuencia, este tren cumpliría los requisitos de FdS establecidos en dichas referencias.

H.6 DISTANCIAS DE FRENADO OBTENIDAS CON NORMATIVAS ANTERIORES A ESTA ET

Se considerarán asumibles todos los cálculos de distancias de frenado realizados con normativa anterior a la publicación de esta ET que no difieran más de un 3% respecto a los resultantes de aplicar la metodología aquí expuesta.

APLICACIÓN DEL FACTOR KAPPA

I.1 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DEL FACTOR KAPPA

Se considera un conjunto heterogéneo de trenes con distintas tipologías, regímenes de frenado, longitudes y prestaciones de frenado, pero que como resultado de la aplicación del factor kappa y del $\Delta\lambda$ acaban asimilándose a un tren, en régimen P, de longitud igual a la del umbral, y con el mismo λ a efectos del cálculo de distancias de frenado.

Nota: todos los λ se consideran evaluados de acuerdo a la [Ref. 11]

1. Trenes considerados:

Nº	Tipo de tren	Régimen	λ (%)	$L_{remolcada}$ (m)
1	Tren de Viajeros	P	75	200
2	Tren de Viajeros	P	75	400
3	Tren de Viajeros	P	91	600
4	Tren de Mercancías	P	75	300
5	Tren de Mercancías	P	75	500
6	Tren de Mercancías	P	79	600
7	Tren de Mercancías	G	92	300
8	Tren de Mercancías	G	92	500
9	Tren de Mercancías	G	92	700
10	Tren de Mercancías	G	93	725

2. Prestaciones de frenado equivalentes, a efectos de distancias de frenado, a la de un tren de longitud igual a la del umbral:

A. Trenes de viajeros (régimen P):

- i. Tren 1: $L_{remolcada} = 200$ m, $\lambda = 75$ %. La longitud es ≤ 400 m, por lo tanto, no se necesita corrección alguna del λ , que se mantiene en el 75 %. Este valor es el que se utilizará en el modelo de esta ET, al asimilar este tren a uno de 400 m.
- ii. Tren 2: $L_{remolcada} = 400$ m, $\lambda = 75$ %. El λ se mantiene en 75 %. El razonamiento es el mismo que en el caso anterior.
- iii. Tren 3: $L_{remolcada} = 600$ m, $\lambda = 91$ %. Al ser un tren de longitud mayor de 400 m hay que aplicar el factor kappa correspondiente, que para este tren es de 0,83. Por tanto: $\lambda = 91 \cdot 0,83 = 75,53 \approx 75$ %.

B. Trenes de Mercancías (régimen P):

- i. Tren 4: $L_{remolcada} = 300\ m$, $\lambda = 75\ \%$. La longitud es $\leq 500\ m$, por lo tanto, no se necesita corrección alguna del λ , que se mantiene en el 75 %. Este valor es el que se utilizará en el modelo de esta ET, al asimilar este tren a uno de mercancías de 500 m , que es equivalente a uno de viajeros de 400 m .
- ii. Tren 5: $L_{remolcada} = 500\ m$, $\lambda = 75\ \%$. El λ se mantiene en 75 %. El razonamiento es el mismo que en el caso anterior.
- iii. Tren 6: $L_{remolcada} = 600\ m$, $\lambda = 79\ \%$. Al ser un tren de longitud mayor de 500 m hay que aplicar el factor kappa correspondiente, que para este tren es de 0,95. $\lambda = 79 * 0,95 = 75,05 \approx 75\ \%$. Este valor es el que se utilizará en el modelo de esta ET, al asimilar este tren a uno de mercancías de 500 m , que es equivalente a uno de viajeros de 400 m .

C. Trenes de Mercancías (régimen G):

- i. Tren 7: $L_{remolcada} = 300\ m$, $\lambda = 92\ \%$. La longitud es $\leq 700\ m$, por lo tanto, no se necesita corrección alguna del λ , que se mantiene en el 92 %. Como el tren circula en régimen G, es necesario corregir el λ con $\Delta\lambda$ definido en el anexo F. Para este caso particular $\Delta\lambda = 17\ \%$. Por lo tanto, el λ corregido es $92\ \% - 17\ \% = 75\ \%$. Este valor es el que se utilizará en el modelo de esta ET, al asimilar este tren a uno de mercancías de 500 m , que es equivalente a uno de viajeros de 400 m en régimen P.
- ii. Tren 8: $L_{remolcada} = 500\ m$, $\lambda = 92\ \%$. El λ resultante es 75 %. El razonamiento es el mismo que en el caso anterior.
- iii. Tren 9: $L_{remolcada} = 700\ m$, $\lambda = 92\ \%$. El λ resultante es 75 %. El razonamiento es el mismo que en el caso anterior.
- iv. Tren 10: $L_{remolcada} = 725\ m$, $\lambda = 93\ \%$. Al ser un tren de longitud mayor de 700 m hay que aplicar el factor kappa correspondiente, que para este tren es de 0,99. $\lambda = 93 * 0,99 = 92,07 \approx 92\ \%$. Procediendo de la misma manera que en los casos anteriores, el λ resultante es del 75 %.

En resumen:

Nº tren	V / M	Régimen	λ (%)	$L_{remolcada}$ (m)	L_{umbral} (m)	$L_{remolcada} > L_{umbral}$	Kappa	$\lambda_{equivalente}$ (%) (*)
1	Viajeros	P	75	200	400	NO	1	75
2	Viajeros	P	75	400	400	NO	1	75
3	Viajeros	P	91	600	400	SI	0,83	75,5~75
4	Mercancías	P	75	300	500	NO	1	75
5	Mercancías	P	75	500	500	NO	1	75
6	Mercancías	P	79	600	500	SI	0,95	75
7	Mercancías	G	92	300	700	NO	1	92 - 17 = 75
8	Mercancías	G	92	500	700	NO	1	92 - 17 = 75
9	Mercancías	G	92	700	700	NO	1	92 - 17 = 75
10	Mercancías	G	93	725	700	SI	0,99	92,1 - 17 ≈ 75

(*) Es el λ que correspondería a ese tren, en régimen P, y con una longitud igual a la del umbral (L_{umbral}): (Para $\lambda = 92\% \rightarrow \Delta\lambda = 17\%$ según apartado F2).

Para estos 10 trenes, las distancias de frenado se calculan con el modelo definido en esta ET considerando en todos ellos un $\lambda = 75\ \%$ y un tiempo de respuesta equivalente del freno correspondiente a un tren de viajeros en régimen P de 400 m (5,02 s).

APROXIMACIÓN AL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL FRENO (INFORMATIVO)

J. 1 REQUISITOS NORMATIVOS

J. 1. 1 ETI DE MATERIAL RODANTE

El apartado 4.2.4.5.4 de la ETI de material rodante de 2014 [Ref. 03], indica que:

- a. La capacidad de disipación térmica del freno se demostrará mediante cálculo. Los valores de disipación de los componentes disipadores estarán validados por experiencia previa o ensayos.
- b. El cálculo incluirá el escenario de dos aplicaciones sucesivas del FdE en horizontal desde la velocidad máxima.
- c. Mediante cálculo se definirá la declividad máxima de la línea, longitud asociada y velocidad de circulación, compatibles con la capacidad térmica del FdS, que le permitan a éste mantener una velocidad constante.
- d. Se propone comprobar el “caso de referencia” correspondiente a una pendiente de -21‰ en 46 km, a 80 km/h.
- e. Las composiciones fijas de $V_{\max} \geq 250$ km/h, deben diseñarse para circular a una velocidad mínima del 90 % de la velocidad máxima de servicio del tren, en una declividad del $\pm 35\%$ en 6 km, o del $\pm 25\%$ en 10 km. Estas declividades son las máximas definidas en el apartado 4.2.5 de la ETI de Infraestructura de 2008 [Ref. 15] y en el 4.2.3.3 su versión de 2014.

Por otro lado, el apartado 4.2.4.7 de la ETI de material rodante de AV [Ref. 14] exigía unos requisitos similares, en esencia, a los del punto e) anterior, aunque aplicables desde una velocidad de 190 km/h.

Por tanto, en el diseño del sistema de freno del material rodante deben definirse las limitaciones derivadas de su capacidad de disipación térmica: declividad máxima de la línea por la que puede circular, longitud asociada y velocidad de servicio. Para ello el fabricante debe contemplar los escenarios de declividad, longitud y velocidad indicados.

J. 1. 2 NORMATIVA NACIONAL

Por otro lado, las Especificaciones Técnicas de Homologación del Material Rodante Ferroviario (ETH) correspondientes a locomotoras, unidades autopropulsadas, coches, vagones y ancho métrico, publicadas por Resoluciones del Ministerio de Fomento en los años 2009 (las cuatro primeras) y 2015 (la última), contienen los requisitos a cumplir por los vehículos homologados durante su periodo de vigencia para poder operar por la RFIG.

En particular, los apartados 4.2.5.2.2 (ETH de locomotoras), 4.2.5.2.3 (ETH de autopropulsados y ETH de coches), 4.2.3.2.3 (ETH de vagones) y 6.2.2 (ET de material rodante de ancho métrico), referidos al comportamiento térmico de los frenos, indican que:

- a. El comportamiento térmico de los frenos deberá permitir al vehículo circular, en condiciones de carga máxima, por la pendiente máxima de las líneas por las que vaya a circular, a una velocidad mínima del 90 % de su velocidad máxima.
- b. Este comportamiento térmico se utilizará para determinar las líneas por las que estará autorizado a circular, o las condiciones de circulación en función de las características de la línea.
- c. Además, los componentes del sistema de freno deberán soportar al menos dos FdE consecutivas desde la velocidad máxima.

De ello se deduce que todo el material rodante que haya solicitado o solicite operar en la RFIG con posterioridad a la entrada en vigor de dichas especificaciones, deberá cumplir lo anterior. La demostración suele realizarse mediante cálculo, contrastado mediante ensayos en vía.

Dichos ensayos se realizan en los tramos con las mayores declividades ordinarias de la RFIG (existe alguna línea específica con declividades superiores), que son similares a las indicadas en las ETI, es decir, -35‰ en AV y -25‰ en el resto.

J. 2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

En este apartado se describe una posible metodología de cálculo para la estimación del comportamiento térmico del sistema de freno, a fin de considerarlo como ejemplo de aplicación de las tablas de distancias de frenado

La distancia de frenado de un tren circulando en pendiente a una determinada velocidad es mayor que en horizontal, y también lo es la energía que debe absorber su sistema de freno. Si se supera su capacidad de disipación, se produciría un calentamiento excesivo de los elementos del sistema de freno que podría afectar a su eficacia produciéndose alargamientos de las distancias de frenado.

Considerando despreciable la resistencia al avance (hipótesis del lado de la seguridad), la energía que debe disipar el sistema de freno para detener un tren que circula por una pendiente a la velocidad V_c será:

$$E = \frac{1}{2}mV_c^2 + mg\Delta h$$

donde:

m : masa total del tren.

V_c : velocidad de circulación del tren al iniciar el FdE.

Δh : diferencia de cota entre el punto de inicio de la frenada y el de parada.

Por otro lado, la energía máxima (E_{max}) que puede disipar el sistema de freno de un tren es un valor característico de este, que depende de sus componentes y equipos (número de elementos de fricción, características de estos, etc.). En principio, puede suponerse con bastante aproximación, que la energía de disipación de cada eje activo es proporcional a su aportación a la masa frenada, es decir, al λ .

Así, en situación degradada, al reducirse el número de ejes activos, la energía máxima que puede disipar este sistema también se reducirá. Si la contribución al frenado de cada eje del tren fuera similar, también lo sería la energía disipada por cada uno durante el frenado. En este caso, al anular ejes, se reduciría la energía que puede disipar el sistema, proporcionalmente al número de ejes anulados.

Para un tren concreto, el valor de dicha energía puede obtenerse a través de ensayos o mediante cálculo. Una vez conocido el dato, puede expresarse como un valor proporcional a la energía ($\frac{1}{2}m V_{max}^2$) disipada por el tren en una FdE en condiciones nominales, circulando en horizontal, desde su V_{max} (definida por las características de sus vehículos), cuyo valor es:

$$E_{max} = \mathcal{N} \cdot \varepsilon \frac{1}{2} m V_{max}^2$$

siendo:

\mathcal{N} : factor de proporcionalidad entre la energía máxima que puede disipar el sistema de freno del tren nominal (sin degradar) y la disipada por éste durante un FdE en condiciones nominales y en horizontal. Representa el número completo de frenados de emergencia (y fracción de éstos) que es capaz de disipar el sistema de freno. Conforme a lo indicado en los apartados J.1.1 y J.1.2 de esta ET, se considera que cualquier tren homologado conforme a esa normativa es capaz de realizar, al menos, dos FdE consecutivas en horizontal, por lo que $\mathcal{N} \geq 2$. Se admiten valores no enteros de \mathcal{N} (p.ej. $\mathcal{N} = 2,4$ significaría que la energía real medida o calculada que puede disipar el sistema es 2,4 veces la correspondiente a un FdE).

ε : factor de degradación del sistema de freno, en tanto por uno. Para ejes similares a efectos de disipación de energía de frenado, puede expresarse en función de estos.

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{real}}{\lambda_{nominal}} \approx \frac{n^{\circ} \text{ ejes activos}}{n^{\circ} \text{ ejes totales}} \quad (\text{en sistemas no degradados } \varepsilon = 1)$$

V_{max} : velocidad máxima nominal del tren, definida por las características de sus vehículos.

Conforme a lo indicado en los apartados J.1.1 y J.1.2 de esta ET se considera que el comportamiento térmico del sistema de freno de un tren cualquiera que cumpla dicha normativa es capaz de realizar, al menos, dos aplicaciones consecutivas del FdE en condiciones nominales, circulando en horizontal y en cualquier estado de carga, desde su V_{max} (definida por las características de sus vehículos), sin perder eficacia en ninguna de ellas. Esto significa que el sistema tiene capacidad para disipar una energía igual o superior a la de las dos frenadas, es decir, $\mathcal{N} = 2$. En principio, para un frenado en horizontal podría ser suficiente con que el tren soportara solamente una aplicación de freno. La capacidad extra de disipación de energía asegurada por la segunda frenada (y en su caso el excedente sobre ésta) es la que se utiliza para garantizar la detención cuando el tren circula en pendiente.

Igualando las energías E y E_{max} y despejando, se obtiene que la diferencia de altura cota (Δh_{max}) que el tren sería capaz de asumir es:

$$\Delta h_{max} = \frac{\mathcal{N} \cdot \varepsilon \cdot V_{max}^2 - V_c^2}{2g}$$

Se trata de un valor que depende de las características del tren (\mathcal{N} , ε , V_{max}) y de su V_c . Por tanto, a cada V_c corresponderá un Δh_{max} .

Para declividades inferiores a 80‰ puede considerarse que el valor absoluto de la pendiente, expresada en tanto por uno (tangente del ángulo α que forma la rasante con la horizontal), es igual al seno de dicho ángulo (UNE-EN 14531-1):

$$i = tg \alpha \approx sen \alpha = \frac{\Delta h}{S_{real}}$$

donde S_{real} es la distancia recorrida por el tren durante un FdE. Su valor es función de la declividad, V_c y λ real del tren (tras las degradaciones del sistema de freno, en su caso). Despejando en la fórmula anterior se tiene:

$$\Delta h \approx i \cdot S_{real}$$

Para realizar una estimación, del lado de la seguridad, de la pendiente máxima por la que puede circular un tren, se hará lo siguiente:

1. A partir de los datos de velocidad máxima nominal (V_{max}), \mathcal{N} , ε del tren y de su velocidad (V_c) de circulación al iniciar el FdE, se calcula Δh_{max}
2. Con la velocidad V_c y las prestaciones del frenado reales del tren (λ en trenes Lambda, t_e y a_e reales en trenes Gamma) se calculan las distancias de FdE en condiciones nominales (S_{real}) para el rango de pendientes de esta ET [-1‰, -35‰]. Si se dispusiera de las distancias reales obtenidas mediante ensayo, podrían utilizarse, con lo que los resultados del proceso serían más precisos.
3. Para cada pendiente y distancia S_{real} correspondiente, se calculará el valor de la altura descendida (Δh).
4. Se toma como pendiente máxima por la que puede circular el tren, la mayor para la que $\Delta h \leq \Delta h_{max}$

J. 3 EJEMPLOS DE ESTIMACIÓN DEL FACTOR \mathcal{N}

Ejemplo 1:

Se desea estimar el valor de \mathcal{N} que debería tener un tren que cumpliera estrictamente las Especificaciones Técnicas de Homologación del material rodante ferroviario (ETH) (indicadas en J.1.2), para poder circular a la velocidad de 100 km/h, con un $\lambda = 65\%$, por una pendiente de -35‰.

Conforme a lo indicado en J.1.2:

1. El tren podrá detenerse mediante el FdE nominal, circulando a una $V_c = 90$ km/h, en una pendiente de -35‰, después de haber mantenido esa velocidad, mediante la aplicación continua o discontinua del freno, a lo largo de la longitud de tramo afectado por dicha pendiente.

Se hace la hipótesis, del lado de la seguridad, de que la afección de dicha aplicación previa del freno a su comportamiento térmico posterior es despreciable.

Las distancias de frenado (S_{real}) y descensos de cota (Δh) correspondientes al tren de $V_c = 90$ km/h y $\lambda_{nominal} = 65\%$ se indican en la tabla adjunta.

En concreto, para la pendiente de -35‰, se tiene: $S_{real} = 1.700$ m y $\Delta h = 59,49$ m.

Entrado en la fórmula de Δh_{max} se tiene:

$$59,49 = \frac{\mathcal{N} \left(\frac{100}{3,6} \right)^2 - \left(\frac{90}{3,6} \right)^2}{2 \cdot 9,81}$$

Por tanto: $\mathcal{N} \geq 2,32$.

Por otro lado, el sistema de freno deberá soportar al menos dos FdE consecutivas desde la velocidad máxima. Esto implica que: $\mathcal{N} \geq 2$.

Así que para que se cumplan simultáneamente los puntos 1 y 2 anteriores, es necesario que: $\mathcal{N} \geq 2,32$. Es decir, en este caso sería más limitativa la condición de un FdE en pendiente que dos en horizontal.

$V_{\max} = 100 \text{ km/h}$ $\lambda = 65\%; V_c = 90 \text{ km/h}$			
		Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh
DECLIVIDAD	0	680	0,00
	-1	692	0,69
	-2	704	1,41
	-3	717	2,15
	-4	730	2,92
	-5	744	3,72
	-6	758	4,55
	-7	773	5,41
	-8	789	6,31
	-9	805	7,24
	-10	821	8,21
	-11	839	9,23
	-12	857	10,28
	-13	876	11,39
	-14	896	12,54
	-15	917	13,75
	-16	938	15,01
	-17	961	16,34
	-18	985	17,73
	-19	1010	19,19
	-20	1036	20,72
	-21	1064	22,34
	-22	1093	24,05
	-23	1124	25,86
	-24	1157	27,76
	-25	1192	29,79
	-26	1228	31,94
	-27	1267	34,22
	-28	1309	36,65
	-29	1354	39,25
	-30	1401	42,03
	-31	1452	45,02
	-32	1507	48,23
	-33	1566	51,69
	-34	1630	55,43
-35	1700	59,49	

Ejemplo 2:

Se desea calcular los valores de \mathcal{N} , ε y λ para un tren de 1.050 t de masa total, velocidad máxima nominal $V_{max} = 100 \text{ km/h}$ y un $\lambda_{nominal} = 75\%$ (sin degradar), que cuenta con 60 ejes equivalentes entre sí a efectos de frenado, en 8 de los cuales ha sido necesario anular el freno.

Se conoce, a través de ensayos, que la energía que es capaz de disipar cada eje durante el frenado, sin pérdida de prestaciones, es de 98 kw durante 150 segundos.

1. La energía máxima (E_{max}) que podría disipar el sistema de freno del tren en condiciones nominales (sin degradar), sería:

$$E_{max} = 60 \cdot 98.000 \cdot 150 = 882.000.000 \text{ J} = 882 \text{ MJ}$$

2. La energía consumida por el tren en una FdE en condiciones nominales, circulando en horizontal, desde su V_{max} sería:

$$E_{1FdE} = \frac{1}{2} m V_{max}^2 = \frac{1}{2} 1.050.000 \cdot \left(\frac{100}{3,6}\right)^2 = 405.093 \text{ J} \approx 405 \text{ MJ}$$

3. Por lo que:

$$\mathcal{N} = \frac{E_{max}}{E_{1Fde}} = \frac{882}{405} = 2,17$$

4. Como a efectos de frenado todos los ejes son equivalentes:

$$\varepsilon = \frac{60 - 8}{60} = 0,8666$$

5. Y en consecuencia:

$$\lambda_{real} = 0,8666 \cdot 75 = 65\%$$

J.4 EJEMPLOS DE CÁLCULO DE PENDIENTES MÁXIMAS

Ejemplo 3:

Se desea calcular la pendiente máxima por la que puede circular un tren de velocidad máxima nominal definida por las características de sus vehículos (V_{max}) de 100 km/h y un $\lambda = 65\%$, del que no se tiene información de sus ensayos de frenado (por lo que se toma $\mathcal{N} = 2$).

Además, al no ser un tren degradado: $\varepsilon = 1$

1. Para este tren el Δh_{max} es:

$$\Delta h_{max} = \frac{2 \left(\frac{100}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{100}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 9,81} = 39,33 \text{ m}$$

2. Las distancias de FdE en condiciones nominales, para cada declividad, desde la velocidad $V_c = 100 \text{ km/h}$, con $\lambda = 65\%$, se recogen en la tabla C1 de esta ET y se trasladan a la tabla adjunta (S_{real}).

3. Para cada S_{real} del apartado anterior se determina Δh , según se recoge en la tabla adjunta.

La pendiente más alta para la cual Δh no supera Δh_{max} es 26 ‰ (resaltada en color verde).

$V_{max} = 100 \text{ km/h}$ $\lambda = 65\%; V_c = 100 \text{ km/h}$			
		Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh
DECLIVIDAD	0	824	0,00
	-1	839	0,84
	-2	853	1,71
	-3	869	2,61
	-4	885	3,54
	-5	902	4,51
	-6	919	5,51
	-7	937	6,56
	-8	956	7,64
	-9	975	8,77
	-10	995	9,95
	-11	1016	11,18
	-12	1038	12,46
	-13	1061	13,79
	-14	1085	15,19
	-15	1110	16,65
	-16	1136	18,18
	-17	1164	19,79
	-18	1193	21,47
	-19	1223	23,24
	-20	1255	25,10
	-21	1288	27,06
	-22	1324	29,12
	-23	1361	31,31
	-24	1401	33,62
	-25	1443	36,07
	-26	1487	38,67
	-27	1535	41,43
	-28	1585	44,38
	-29	1639	47,52
	-30	1696	50,89
	-31	1758	54,50
	-32	1824	58,38
	-33	1896	62,57
	-34	1973	67,09
	-35	2057	72,01

Ejemplo 4:

Se desea calcular la pendiente máxima por la que puede circular el tren del ejemplo 2, cuando su sistema de freno se degrada hasta el 55% y su velocidad de circulación (V_c) se reduce a 80 km/h.

1. Se calcula ε :

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{real}}{\lambda_{nominal}} = \frac{55}{65} = 0,8461$$

2. Para este tren el Δh_{max} es:

$$\Delta h_{max} = \frac{2 \cdot 0,8461 \cdot \left(\frac{100}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{80}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 9,81} = 41,38 \text{ m}$$

3. Las distancias de FdE en condiciones nominales, para cada declividad, desde la $V_c = 80 \text{ km/h}$, con $\lambda = 55\%$ se recogen en la tabla C1 de esta ET y se trasladan a la tabla adjunta (S_{real}).
4. Para cada S_{real} del apartado anterior se determina Δh , según se recoge en la tabla adjunta.
5. La pendiente más alta para la cual Δh no supera Δh_{max} es 28 ‰ (resaltada en color verde).

Ejemplo 5:

Se desea calcular la pendiente máxima por la que puede circular un tren de velocidad máxima nominal definida por las características de sus vehículos (V_{max}) de 80 km/h y un $\lambda = 55\%$, del que no se tiene información de sus ensayos de frenado (por lo que se toma $\mathcal{N} = 2$).

Además, al no ser un tren degradado: $\varepsilon = 1$

1. Para este tren el Δh_{max} es:

$$\Delta h_{max} = \frac{2 \left(\frac{80}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{80}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 9,81} = 25,17 \text{ m}$$

2. Las distancias de FdE en condiciones nominales, para cada declividad, desde la velocidad $V_c = 80 \text{ km/h}$, con $\lambda = 55\%$, se recogen en la tabla C1 de esta ET y se trasladan a la tabla adjunta (S_{real}).
3. Para cada S_{real} del apartado anterior se determina Δh , según se recoge en la tabla adjunta.
4. La pendiente más alta para la cual Δh no supera Δh_{max} es 22 ‰ (resaltada en color verde).

Vmax = 100 / 80 km/h λ = 55%; Vc = 80 km/h			
		Distancia de FdE nominal (S _{real})	Δh
DECLIVIDAD	0	617	0,00
	-1	630	0,63
	-2	643	1,29
	-3	656	1,97
	-4	670	2,68
	-5	685	3,43
	-6	700	4,20
	-7	717	5,02
	-8	734	5,87
	-9	751	6,76
	-10	770	7,70
	-11	789	8,68
	-12	810	9,72
	-13	831	10,81
	-14	854	11,96
	-15	878	13,17
	-16	904	14,46
	-17	931	15,82
	-18	959	17,26
	-19	989	18,80
	-20	1022	20,44
	-21	1056	22,18
	-22	1093	24,05
	-23	1133	26,05
	-24	1175	28,21
	-25	1221	30,53
	-26	1271	33,03
	-27	1324	35,75
	-28	1383	38,71
	-29	1446	41,94
	-30	1516	45,48
	-31	1593	49,38
	-32	1678	53,70
	-33	1773	58,50
	-34	1879	63,88
-35	1998	69,93	

Los resultados de los tres ejemplos anteriores se muestran en la siguiente tabla:

Ejemplo	V_{max} (km/h)	$\lambda_{nominal}$ (%)	λ_{real} (%)	ε	V_c (km/h)	Δh_{max} (m)	i (‰)
2	100	65	65	1	100	39,33	-26
3	100	65	55	0,8461	80	41,38	-28
4	80	55	55	1	80	25,17	-22

A la vista de ello, y analizando únicamente desde el punto de vista de comportamiento térmico de sus frenos, se extraen las siguientes conclusiones:

1. De los ejemplos 2 y 3 se observa que un tren al degradarse y circular a una velocidad inferior a la máxima nominal, puede circular, en general, por pendientes más elevadas. Ello es cierto siempre que la degradación no sea muy alta, ni la reducción de velocidad muy pequeña, es decir, que a medida que aumenta la degradación (disminuye ε), hay que disminuir la V_c para que se siga cumpliendo.
2. De los ejemplos 3 y 4 se observa que, para los mismos λ y V_c , el tren de mayor V_{max} , en general, puede transitar por pendientes más elevadas. Esto es cierto siempre que la degradación no sea muy alta [$\varepsilon > (V_c/V_{max})^2$]. Ello se justifica por la mayor "robustez" de sus equipos de freno.

J.5 APLICACIÓN AL CÁLCULO DE LA VELOCIDAD MÁXIMA DE CIRCULACIÓN POR UNA PENDIENTE DETERMINADA

En el apartado J.4 se ha aplicado la metodología propuesta al cálculo de las pendientes máximas por la que podría circular un tren, a una determinada velocidad de circulación (V_c), en función de su λ y de su velocidad máxima nominal (V_{max}). En este apartado se va a aplicar la metodología anterior al caso de un tren que, como consecuencia de la degradación de su sistema de freno, no pueda circular a su velocidad máxima nominal (V_{max}) por una pendiente determinada y deba reducir su velocidad de circulación (V_c) hasta un valor que se quiere conocer.

En este caso, es necesario realizar el proceso iterativo siguiente:

1. Se elige una $V_c < V_{max}$ y se calcula el Δh_{max} .
2. En las tablas de distancias de frenado correspondientes a V_c y λ_{real} , se calculan los Δh correspondientes a cada distancia de frenado, determinando la pendiente máxima para la que el $\Delta h \leq \Delta h_{max}$.
3. Si la pendiente anterior es mayor que aquella por la que se quiere circular, entonces la velocidad máxima será la elegida en el punto 1). En caso contrario, se reitera el proceso desde el punto 1) utilizando una V_c inferior.

Ejemplo 6:

Se desea calcular la velocidad máxima a la que podría circular un tren Talgo III de V_{max} nominal definida por las características de sus vehículos de 160 km/h, formado por una locomotora y 7 coches remolcados, de los cuales 4 de ellos van en situación degradada y deben circular aislados, por una línea de pendiente máxima 30 ‰. Las características de frenado del tren, en situación normal y degradada, son las siguientes:

Situación	Vehículo	Nº veh. con freno	Masa frenada unitaria (t)	Masa frenada total (t)	Masa total (t)	λ (%)
Normal	Locomotora	1	101	101	84	
	Coches	7	14	98	78,54	
	TOTAL			199	162,54	122

Degradada	Locomotora	1	101	101	84	
	Coches	3	14	42	78,54	
	TOTAL			143	162,54	88

Dado que no se dispone de información de sus ensayos de frenado, se toma $N = 2$.

Tal como se ha indicado anteriormente, es necesario tantear con distintas $V_c < V_{max}$ y calcular para cada una de ellas su Δh_{max} y la pendiente a la que corresponde, hasta que esta sea mayor o igual a 30 ‰.

1. Se calcula ε :

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{real}}{\lambda_{nominal}} = \frac{88}{122} = 0,7213$$

2. Para las prestaciones de frenado reales ($\lambda = 88 \%$) se calculan las distancias de FdE en condiciones nominales (S_{real}) para diferentes velocidades de circulación $V_c < V_{max} = 160 \text{ km/h}$. En principio se tantea con $V_c = 160, 140, 130 \dots \text{ km/h}$.

3. Para cada S_{real} del apartado anterior se determina Δh , según se recoge en la tabla adjunta.

4. Para este tren y para cada velocidad de circulación (V_c) anterior, el Δh_{max} (m) será:

$$\Delta h_{max} = \frac{2 \cdot 0,7213 \cdot \left(\frac{160}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{V_c}{3,6}\right)^2}{2 \cdot 9,81} = 145,238 - \frac{V_c^2}{254,275}$$

En este caso:

V_c (km/h)	Δh_{max} (m)
160	44,56
140	68,15
130	78,77

5. Para cada V_c se selecciona el mayor $\Delta h \leq \Delta h_{max}$, comprobando si la pendiente a la que corresponde es mayor o igual que 30 ‰. En caso contrario, el tren no podrá circular por esa pendiente y será necesario elegir una V_c inferior.

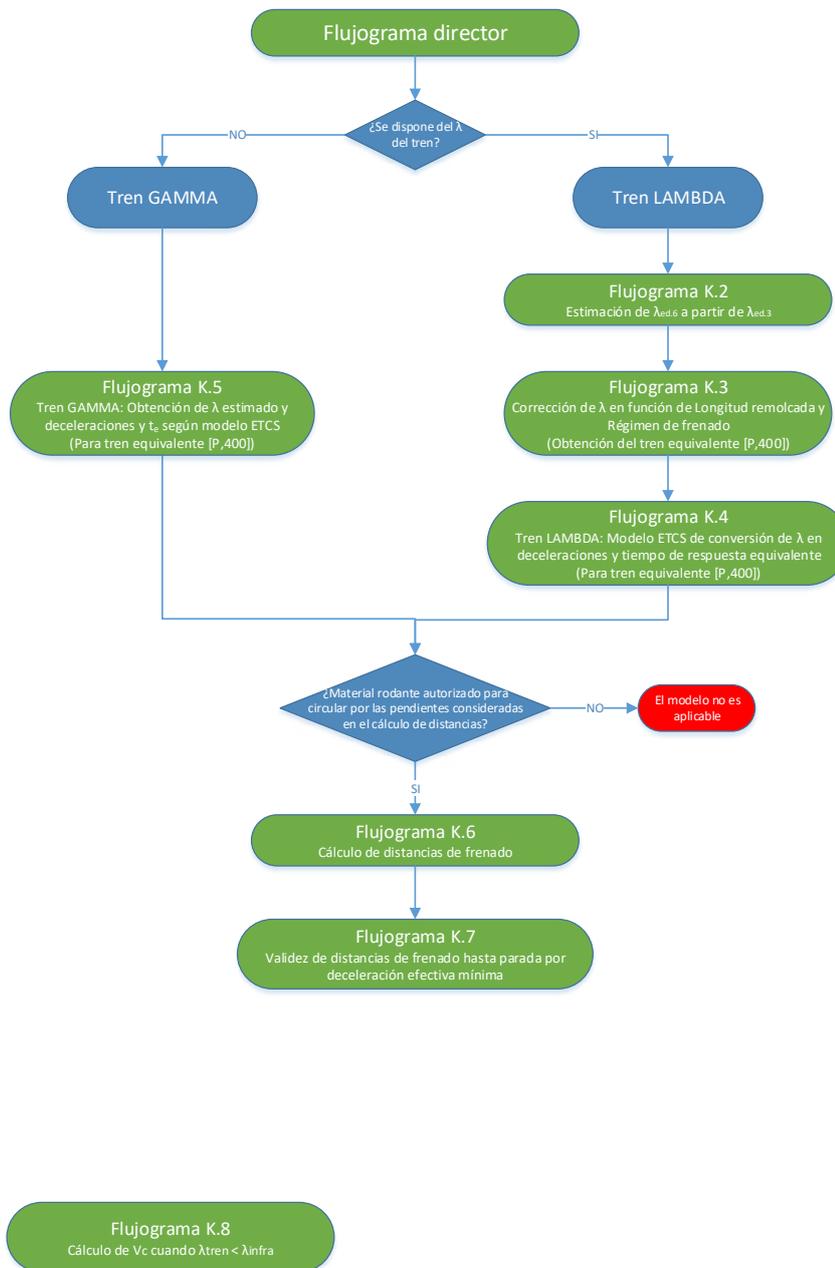
6. El proceso se repite hasta que se cumpla lo anterior. El resultado del cálculo se recoge en la tabla siguiente, donde se observa que:

- El tren sin degradar ($\lambda = 122 \%$) puede circular a 160 km/h por pendientes superiores a 35 ‰.
- El tren degradado ($\lambda = 88 \%$) solo puede circular a 160 km/h por pendientes menores o iguales a 17 ‰ < 30 ‰.
- El tren degradado ($\lambda = 88 \%$) solo puede circular a 140 km/h por pendientes menores o iguales a 28 ‰ < 30 ‰.
- El tren degradado ($\lambda = 88 \%$) puede circular a 130 km/h por pendientes menores o iguales a 34 ‰ > 30 ‰. Luego la velocidad pedida es $V_c = 130 \text{ km/h}$.

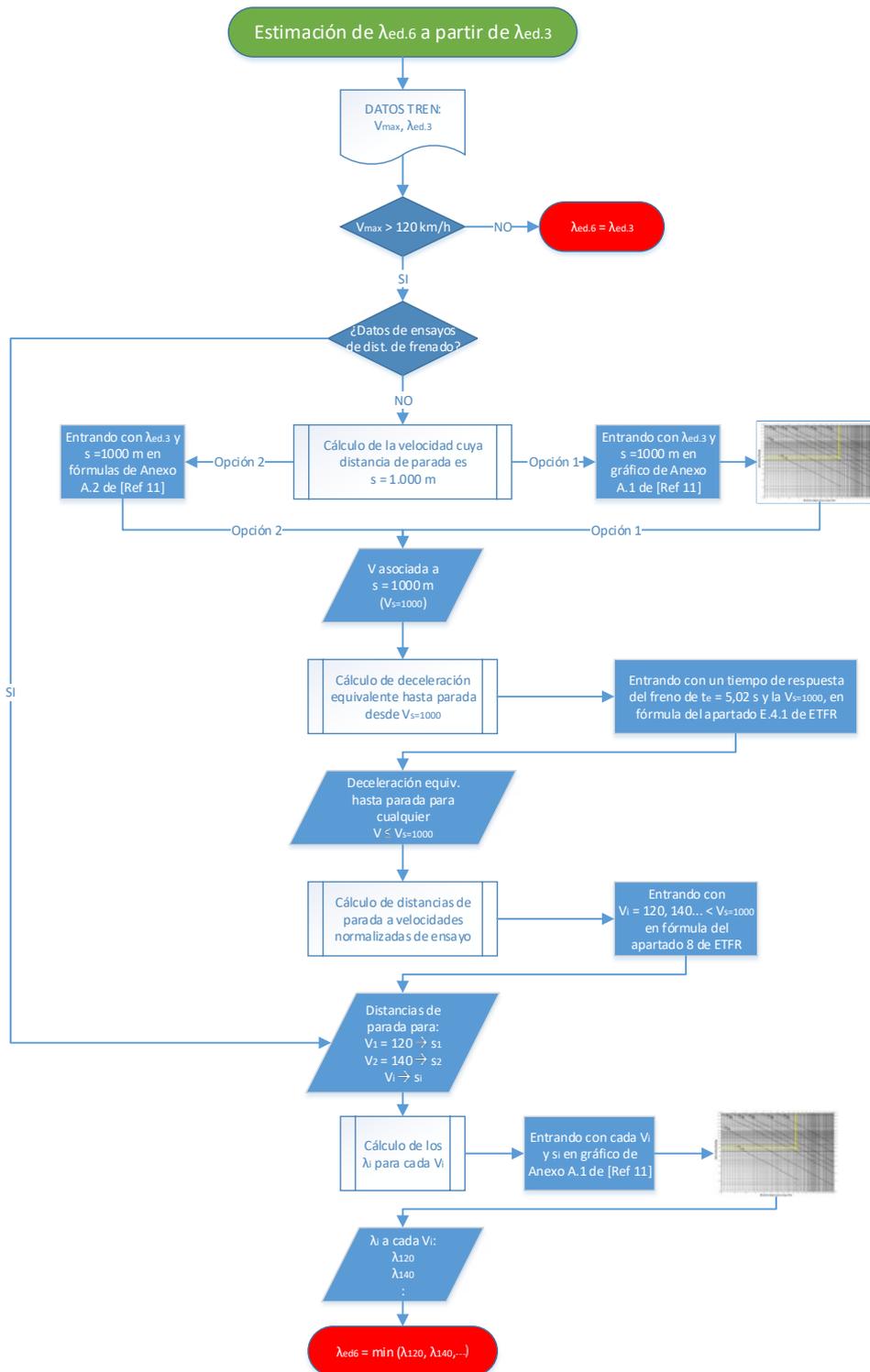
		V _{max} nominal = 160 km/h							
λ	88%		88%		88%		122%		
V _c	130 km/h		140 km/h		160 km/h		160 km/h		
	Δh _{max} =	78,77	Δh _{max} =	68,15	Δh _{max} =	44,56	Δh _{max} =	100,67	
	Distancia de FdE nominal (S _{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S _{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S _{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S _{real})	Δh (m)	
DECLIVIDAD	0	1113	0,00	1318	0,00	1780	0,00	1327	0,00
	-1	1130	1,13	1339	1,34	1809	1,81	1343	1,34
	-2	1147	2,29	1360	2,72	1838	3,68	1359	2,72
	-3	1165	3,49	1381	4,14	1869	5,61	1375	4,12
	-4	1183	4,73	1403	5,61	1901	7,61	1391	5,56
	-5	1202	6,01	1426	7,13	1934	9,67	1408	7,04
	-6	1221	7,33	1450	8,70	1969	11,81	1426	8,55
	-7	1241	8,69	1475	10,32	2004	14,03	1443	10,10
	-8	1262	10,09	1500	12,00	2041	16,33	1462	11,68
	-9	1283	11,55	1527	13,74	2079	18,71	1480	13,31
	-10	1305	13,05	1554	15,54	2119	21,19	1500	14,99
	-11	1328	14,61	1583	17,41	2160	23,77	1520	16,70
	-12	1352	16,22	1612	19,35	2204	26,44	1540	18,46
	-13	1377	17,90	1643	21,36	2249	29,23	1561	20,27
	-14	1402	19,63	1675	23,45	2295	32,13	1582	22,13
	-15	1429	21,44	1708	25,62	2344	35,16	1604	24,04
	-16	1457	23,31	1743	27,88	2395	38,33	1627	26,01
	-17	1486	25,26	1779	30,24	2449	41,63	1651	28,03
	-18	1516	27,28	1816	32,70	2505	45,09	1675	30,12
	-19	1547	29,40	1856	35,26	2564	48,71	1699	32,26
	-20	1580	31,60	1897	37,94	2625	52,50	1725	34,47
	-21	1614	33,90	1940	40,74	2690	56,49	1752	36,75
-22	1650	36,30	1985	43,68	2758	60,68	1779	39,10	

		Vmax nominal = 160 km/h							
λ		88%		88%		88%		122%	
Vc		130 km/h		140 km/h		160 km/h		160 km/h	
		$\Delta h_{\max} =$	78,77	$\Delta h_{\max} =$	68,15	$\Delta h_{\max} =$	44,56	$\Delta h_{\max} =$	100,67
		Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh (m)	Distancia de FdE nominal (S_{real})	Δh (m)
DECLIVIDAD	-23	1688	38,81	2033	46,76	2830	65,10	1807	41,52
	-24	1727	41,45	2083	49,99	2906	69,76	1836	44,02
	-25	1768	44,21	2135	53,39	2987	74,67	1866	46,61
	-26	1812	47,11	2191	56,97	3072	79,88	1897	49,28
	-27	1858	50,16	2250	60,74	3163	85,40	1930	52,05
	-28	1906	53,37	2312	64,73	3259	91,26	1963	54,91
	-29	1957	56,76	2378	68,95	3362	97,51	1998	57,87
	-30	2012	60,35	2448	73,43	3473	104,18	2034	60,95
	-31	2069	64,14	2522	78,19	3591	111,31	2071	64,13
	-32	2130	68,17	2602	83,25	3718	118,96	2110	67,44
	-33	2196	72,46	2687	88,67	3855	127,20	2150	70,88
	-34	2265	77,03	2779	94,47	4003	136,10	2192	74,45
	-35	2340	81,91	2877	100,70	4164	145,75	2236	78,17

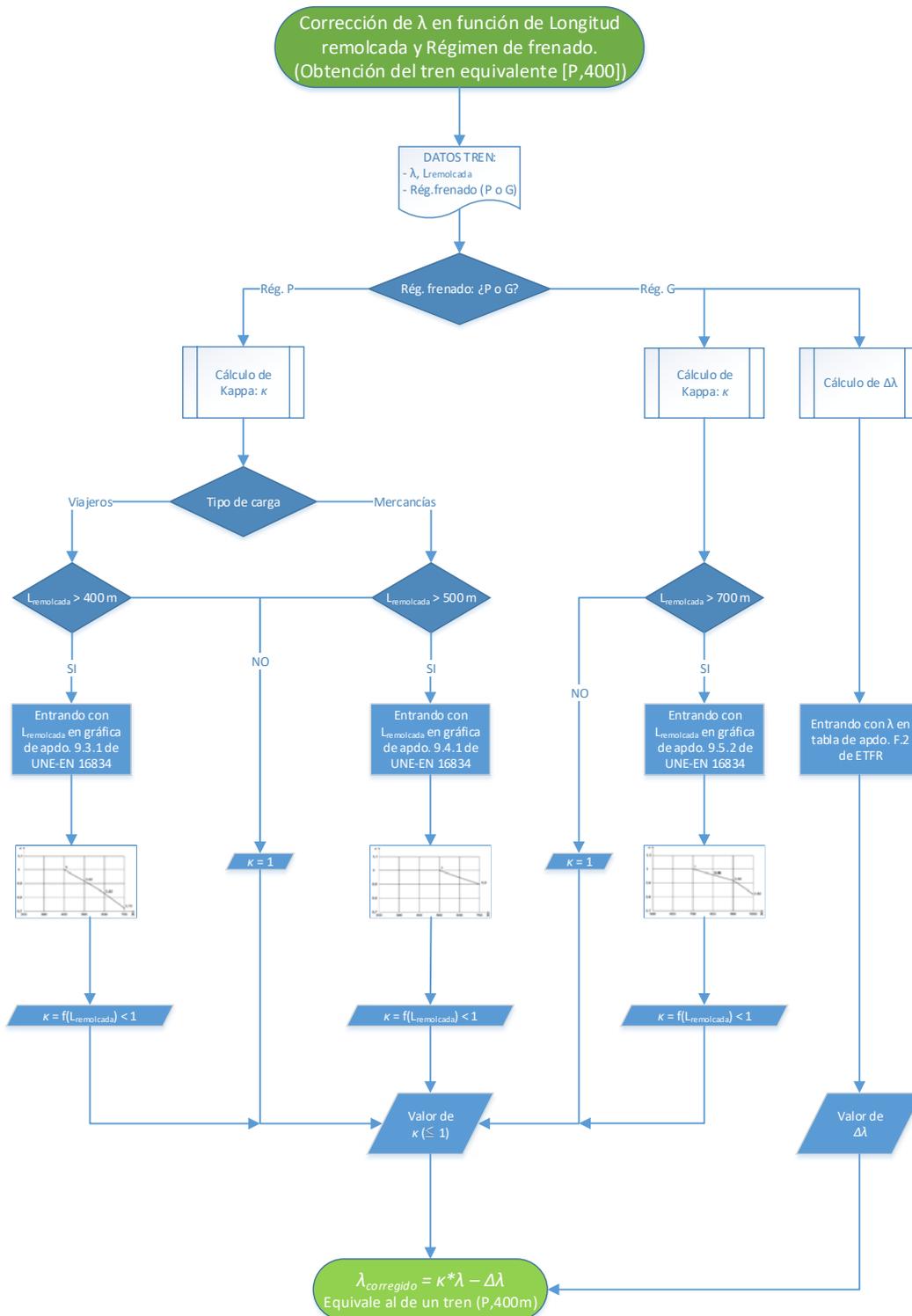
K. 1 ESQUEMA DIRECTOR



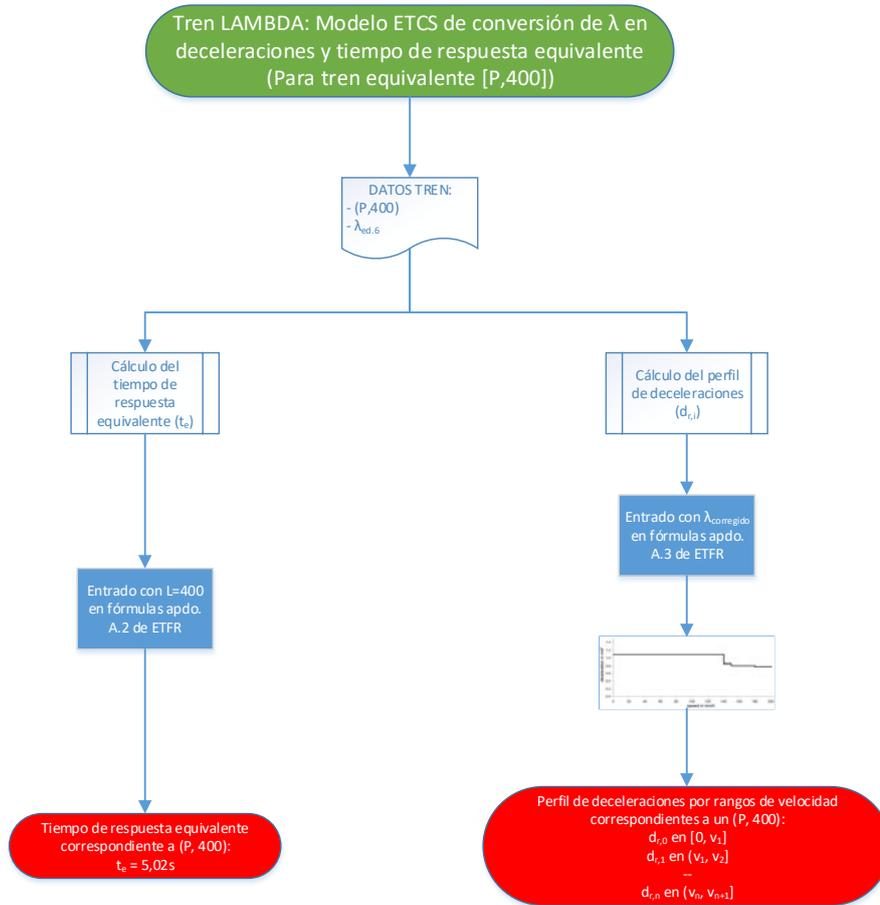
K.2 ESTIMACIÓN DE $\lambda_{UNE-EN\ 16834} \equiv \lambda_{ed,6}$ A PARTIR DE $\lambda_{ed,3}$



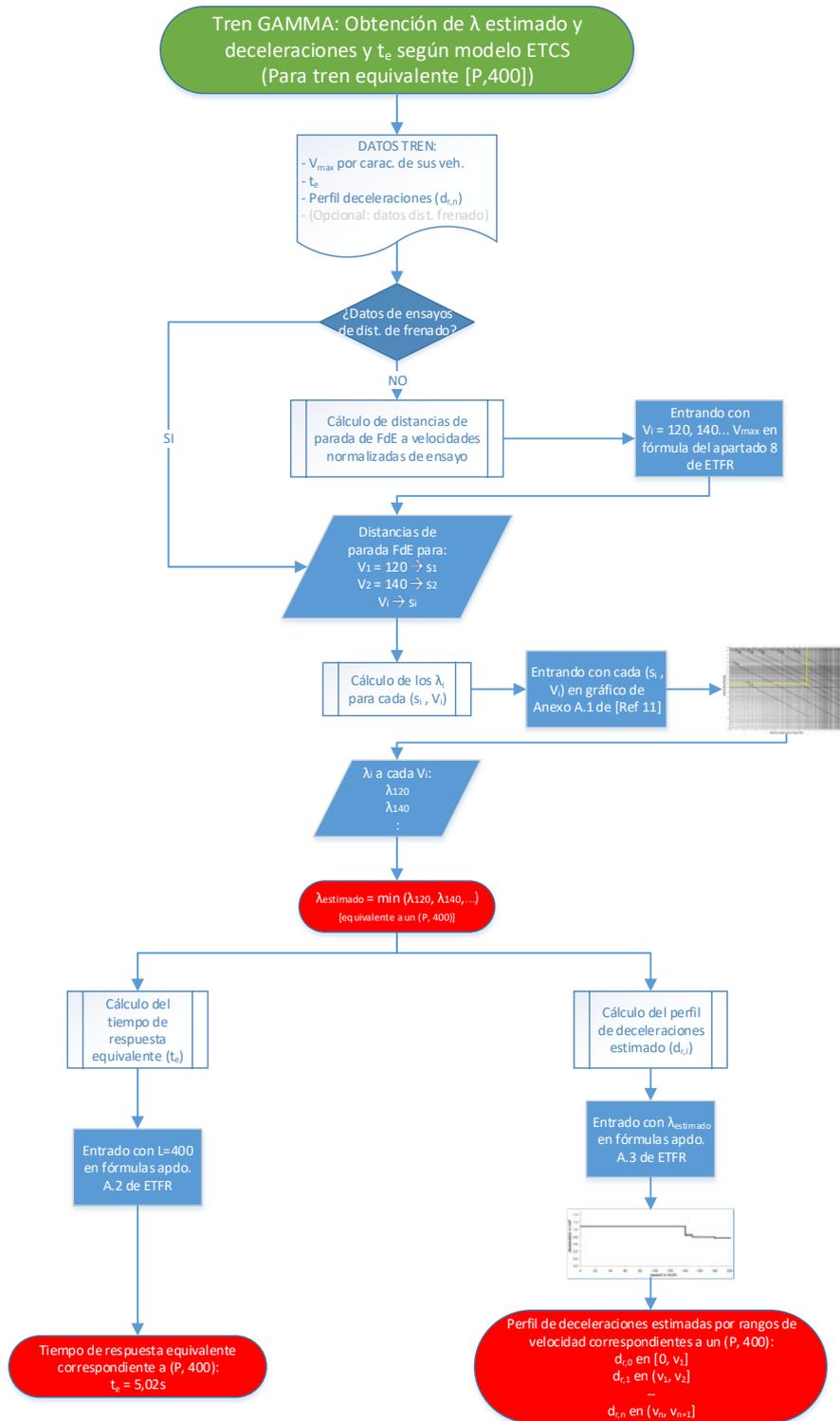
K. 3 CORRECCIÓN DE λ POR LONGITUD Y RÉGIMEN DE FRENADO. OBTENCIÓN TREN EQUIVALENTE (P,400)



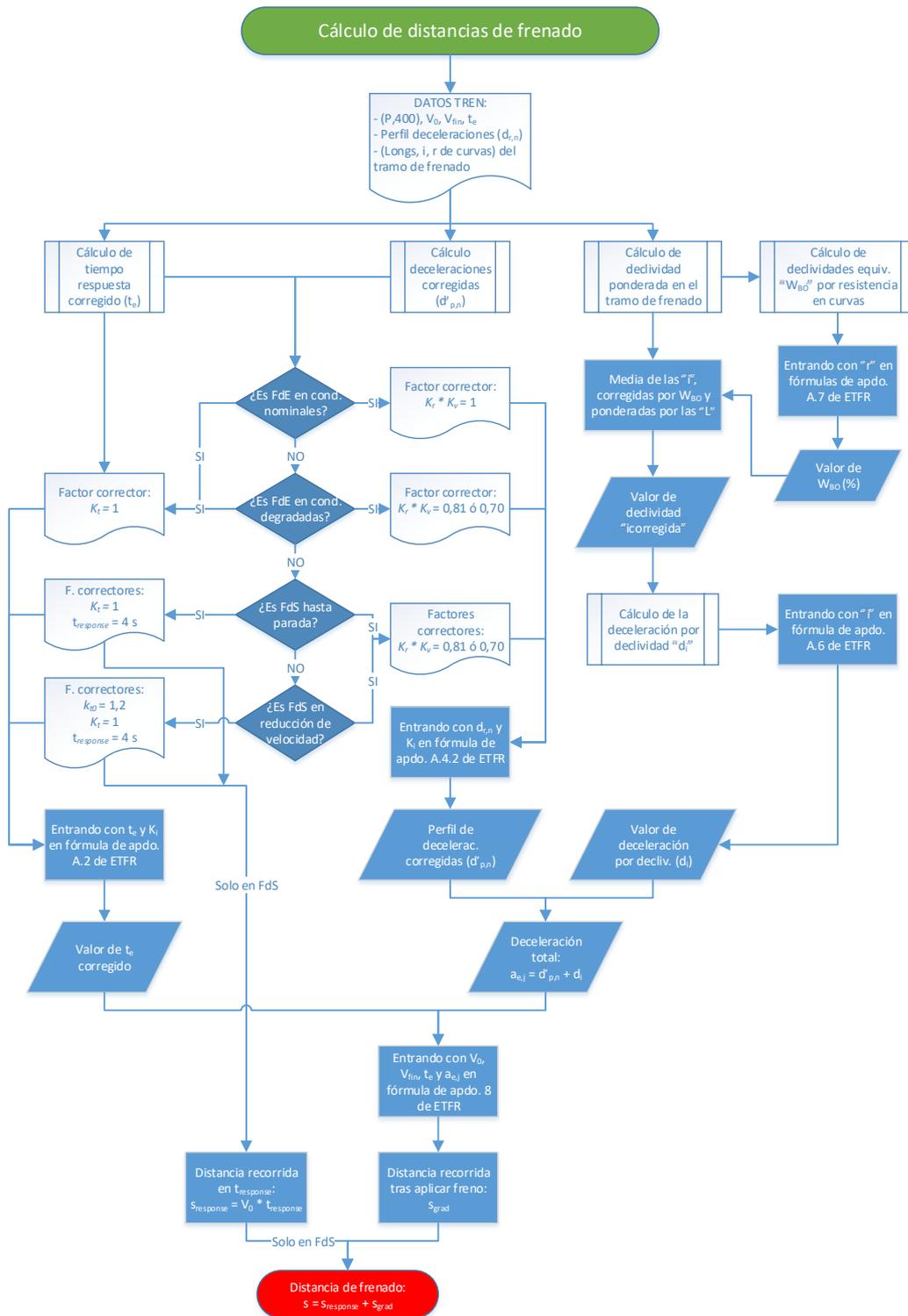
K. 4 TREN LAMBDA. MODELO ETCS CONVERSIÓN λ EN DECELERACIONES



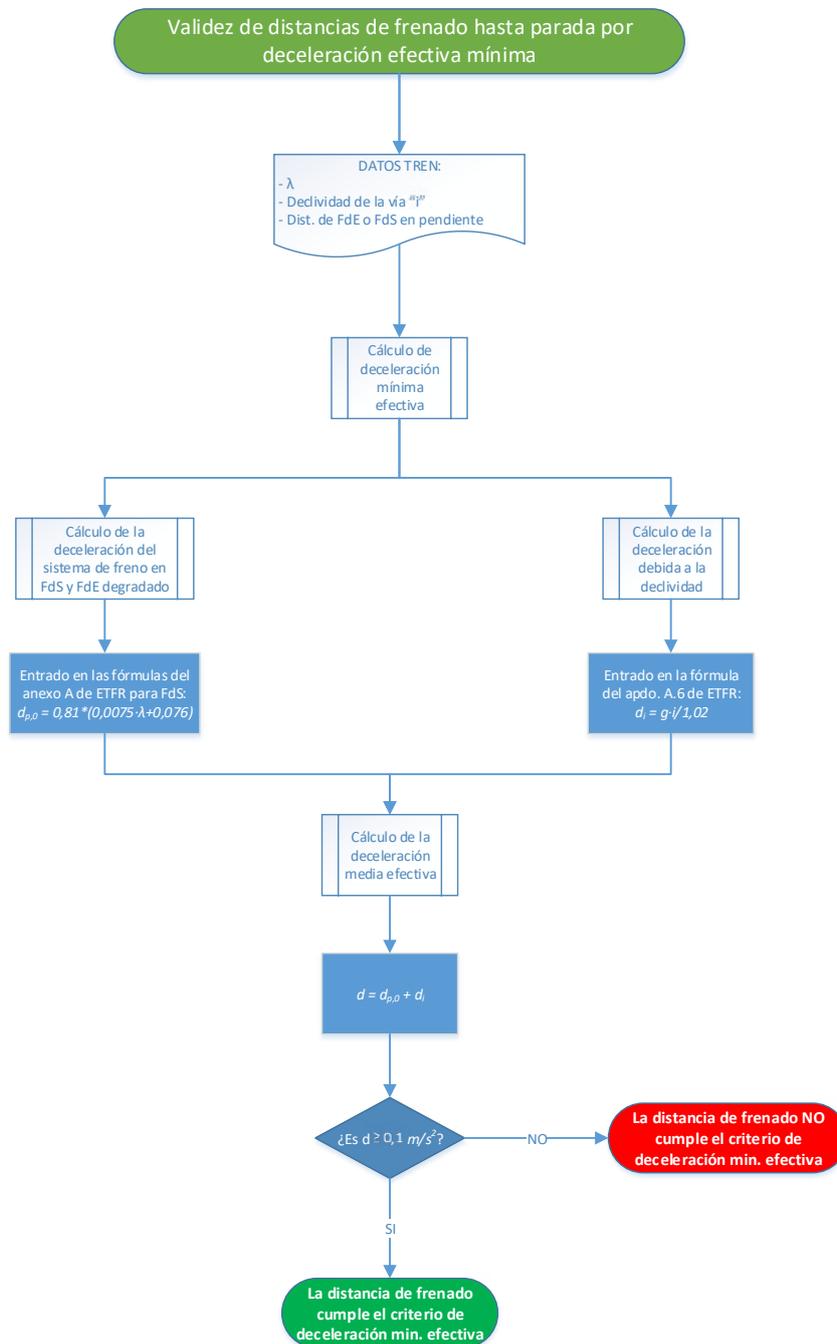
K. 5 TREN GAMMA. CÁLCULOS DE λ ESTIMADO Y DECELERACIONES



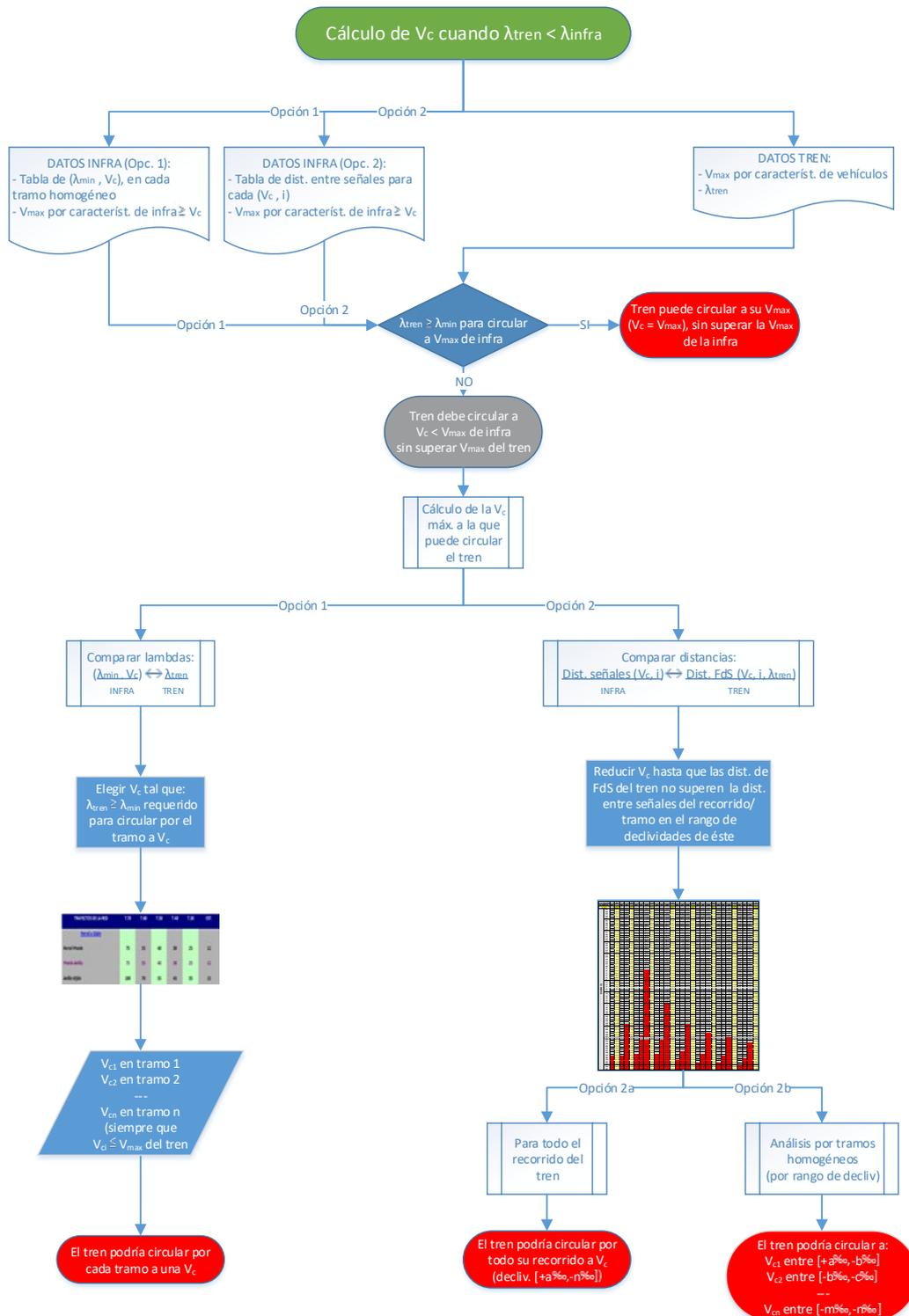
K. 6 CÁLCULO DE DISTANCIAS DE FRENADO



K. 7 VALIDEZ DE DISTANCIAS DE FRENADO POR CRITERIOS TÉRMICOS Y DE DECELERACIÓN EFECTIVA



K. 8 VELOCIDAD MÁXIMA DE CIRCULACIÓN CUANDO EL λ DISPONIBLE ES INFERIOR AL REQUERIDO POR EL AI





GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARIA GENERAL
DE INFRAESTRUCTURAS

AGENCIA ESTATAL DE
SEGURIDAD FERROVIARIA