

II

(Actos no legislativos)

REGLAMENTOS

REGLAMENTO (UE) 2016/646 DE LA COMISIÓN

de 20 de abril de 2016

por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 692/2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 6)

(Texto pertinente a efectos del EEE)

LA COMISIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,

Visto el Reglamento (CE) n.º 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2007, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos ⁽¹⁾, y en particular su artículo 5, apartado 3,

Considerando lo siguiente:

- (1) El Reglamento (CE) n.º 715/2007 es uno de los actos reglamentarios específicos que se enmarcan en el procedimiento de homologación de tipo establecido por la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo ⁽²⁾.
- (2) El Reglamento (CE) n.º 715/2007 exige que los vehículos ligeros nuevos cumplan determinados límites de emisiones y establece requisitos adicionales sobre el acceso a la información. Las disposiciones técnicas específicas que son necesarias para la implementación de dicho Reglamento se adoptaron por medio del Reglamento (CE) n.º 692/2008 de la Comisión ⁽³⁾.
- (3) La Comisión ha realizado un análisis detallado de los procedimientos, los ensayos y los requisitos de homologación de tipo establecidos en el Reglamento (CE) n.º 692/2008 basándose en sus propias investigaciones y en información externa y ha llegado a la conclusión de que las emisiones generadas por la conducción real en carretera de los vehículos Euro 5/6 superan sustancialmente las emisiones medidas en el Nuevo Ciclo de Conducción Europeo (NEDC, *New European Driving Cycle*) reglamentario, en particular por lo que respecta a las emisiones de NO_x de los vehículos diésel.
- (4) Los requisitos sobre emisiones para la homologación de tipo de los vehículos de motor se han endurecido de manera gradual y considerable con la introducción y posterior revisión de las normas Euro. Aunque, en general, se han reducido mucho las emisiones del conjunto de los contaminantes regulados, no se puede decir lo mismo de las emisiones de NO_x de los motores diésel, especialmente de los vehículos ligeros. Por tanto, deben adoptarse medidas para corregir esta situación.
- (5) Los «dispositivos de desactivación», según se definen en el artículo 3, punto 10, del Reglamento (CE) n.º 715/2007, que reducen el nivel de control de las emisiones están prohibidos. Acontecimientos recientes han

⁽¹⁾ DO L 171 de 29.6.2007, p. 1.

⁽²⁾ Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco) (DO L 263 de 9.10.2007, p. 1).

⁽³⁾ Reglamento (CE) n.º 692/2008 de la Comisión, de 18 de julio de 2008, por el que se aplica y modifica el Reglamento (CE) n.º 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos (DO L 199 de 28.7.2008, p. 1).

puesto de relieve la necesidad de reforzar la garantía de cumplimiento a este respecto. Por tanto, es conveniente exigir una mejor supervisión de la estrategia de control de las emisiones aplicada por el fabricante en la homologación de tipo, siguiendo los principios que ya se aplican a los vehículos pesados en virtud del Reglamento (CE) n.º 595/2009, sobre Euro VI, y de sus medidas de desarrollo.

- (6) Abordar el problema de las emisiones de NO_x de los vehículos diésel probablemente contribuirá a reducir las actuales concentraciones, permanentemente altas, de NO₂ en el aire ambiente, que constituyen un importante motivo de preocupación para la salud humana.
- (7) En enero de 2011, la Comisión estableció un grupo de trabajo con participación de todas las partes interesadas para desarrollar un procedimiento de ensayo de emisiones en condiciones reales de conducción (RDE, *real driving emissions*) que refleje mejor las emisiones medidas en la carretera. A tal fin, y después de exhaustivos debates técnicos, se ha seguido la opción sugerida en el Reglamento (CE) n.º 715/2007, a saber, el uso de sistemas portátiles de medición de emisiones (PEMS, *portable emissions measurement systems*) y de límites no sobrepasables (NTE, *not-to-exceed*).
- (8) Como se acordó con las partes interesadas en el proceso CARS 2020 ⁽¹⁾, los procedimientos de ensayo de RDE han de introducirse en dos fases: durante un primer período transitorio, los procedimientos de ensayo deben aplicarse únicamente con fines de seguimiento, y posteriormente deben aplicarse, junto con requisitos cuantitativos vinculantes de RDE, a todas las nuevas homologaciones de tipo y todos los nuevos vehículos.
- (9) Los procedimientos de ensayo de RDE fueron introducidos por el Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión ⁽²⁾. Ahora es preciso establecer los requisitos cuantitativos de RDE para limitar las emisiones del tubo de escape en todas las condiciones normales de utilización con arreglo a los límites de emisiones establecidos en el Reglamento (CE) n.º 715/2007. A tal fin, deben tomarse en consideración las incertidumbres estadísticas y técnicas de los procedimientos de medición.
- (10) Para que los fabricantes puedan adaptarse gradualmente a las normas sobre RDE, los requisitos cuantitativos definitivos de RDE deben introducirse en dos fases sucesivas. En la primera fase, que ha de empezar a aplicarse transcurridos cuatro años desde las fechas de aplicación obligatoria de las normas Euro 6, debe utilizarse un factor de conformidad de 2,1. La segunda fase debe seguir un año y cuatro meses después de la primera y en ella debe exigirse el pleno cumplimiento del valor límite de emisiones de NO_x de 80 mg/km establecido en el Reglamento (CE) n.º 715/2007, más un margen que tenga en cuenta las incertidumbres adicionales de la medición relacionadas con el uso de PEMS.
- (11) Aunque es importante que los ensayos de RDE puedan abarcar todas las situaciones de conducción posibles, debe evitarse que los vehículos ensayados se conduzcan de una manera tendenciosa, es decir, con la intención de que el vehículo supere o no el ensayo no en función de sus prestaciones técnicas, sino debido a unas pautas de conducción extremas. Se introducen, pues, condiciones límite complementarias para los ensayos de RDE, a fin de tener en cuenta tales situaciones.
- (12) Por su propia naturaleza, las condiciones de conducción que se dan en cada trayecto con PEMS pueden no corresponderse plenamente con las «condiciones normales de utilización de un vehículo». Por tanto, la severidad del control de emisiones durante esos trayectos puede variar. En consecuencia, y con el fin de tener en cuenta las incertidumbres estadísticas y técnicas de los procedimientos de medición, puede considerarse en el futuro la posibilidad de reflejar en los límites de emisión NTE aplicables a cada trayecto con PEMS las características de tales trayectos descritas por determinados parámetros mensurables, por ejemplo los relacionados con la dinámica de la conducción o con la carga de trabajo. La aplicación de ese principio no debe conducir a un debilitamiento del efecto medioambiental ni de la eficacia de los procedimientos de ensayo de RDE, que lo cual debe demostrarse mediante un estudio científico revisado por expertos. Además, para evaluar la severidad del control de emisiones durante el trayecto con PEMS, únicamente deben tomarse en consideración parámetros que puedan justificarse por razones científicas objetivas y no solo por razones de calibración del motor, de los dispositivos de control de la contaminación o de los sistemas de control de emisiones.
- (13) Por último, reconociendo la necesidad de controlar las emisiones de NO_x en ciclo urbano, debe estudiarse con urgencia la posibilidad de modificar la ponderación relativa de los elementos urbano, rural y en autopista del ensayo de RDE, a fin de que en la práctica pueda lograrse un factor de conformidad bajo, creando en el tercer paquete regulador de RDE una nueva condición límite relativa a la dinámica de la conducción por encima de la cual sean aplicables las condiciones ampliadas a partir de las fechas de introducción de la fase 1.

⁽¹⁾ Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones «CARS 2020: Plan de Acción para una industria del automóvil competitiva y sostenible en Europa» [COM(2012) 636 final].

⁽²⁾ Reglamento (UE) 2016/427 de la Comisión, de 10 de marzo de 2016, por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 692/2008 en lo que concierne a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (DO L 82 de 31.3.2016, p. 1).

- (14) La Comisión ha de examinar periódicamente las disposiciones del procedimiento de ensayo de RDE y adaptarlas para tener en cuenta las nuevas tecnologías de vehículos y garantizar su eficacia. De modo similar, la Comisión ha de examinar anualmente el nivel adecuado del factor de conformidad final a la luz del progreso técnico. En particular, ha de examinar los dos métodos alternativos para evaluar los datos de emisiones del PEMS que figuran en los apéndices 5 y 6 del anexo IIIA del Reglamento (CE) n.º 692/2008, con vistas a desarrollar un método único.
- (15) Por consiguiente, procede modificar el Reglamento (CE) n.º 692/2008 en consecuencia.
- (16) Las medidas previstas en el presente Reglamento se ajustan al dictamen del Comité Técnico sobre Vehículos de Motor.

HA ADOPTADO EL PRESENTE REGLAMENTO:

Artículo 1

El Reglamento (CE) n.º 692/2008 se modifica como sigue:

1. En el artículo 2, se añaden los apartados 43 y 44 siguientes:

- «43. “Estrategia básica de emisiones” (en lo sucesivo, “BES”), la estrategia en materia de emisiones que está activa en todos los intervalos de velocidad y carga del vehículo, excepto cuando se haya activado una estrategia auxiliar de emisiones.
44. “Estrategia auxiliar de emisiones” (en lo sucesivo, “AES”), la estrategia en materia de emisiones que se activa y que sustituye a una BES o la modifica para un fin concreto y en respuesta a un conjunto específico de condiciones ambientales o de funcionamiento, y que solo permanece operativa mientras existan dichas condiciones.».

2. En el artículo 3, apartado 10, el párrafo tercero se sustituye por el texto siguiente:

«Hasta tres años después de las fechas indicadas en el artículo 10, apartado 4, y cuatro años después de las fechas indicadas en el artículo 10, apartado 5, del Reglamento (CE) n.º 715/2007, se aplicarán las disposiciones siguientes:».

3. El artículo 3, apartado 10, letra a), se sustituye por el texto siguiente:

«No serán de aplicación los requisitos del punto 2.1 del anexo IIIA.».

4. En el artículo 5 se insertan los apartados 11 y 12 siguientes:

«11. El fabricante deberá presentar asimismo una documentación ampliada, con la siguiente información:

- a) datos sobre el funcionamiento de todas las AES y BES, incluida una descripción de los parámetros modificados por cualquier AES y las condiciones límite en que funciona la AES, e indicación de las AES y las BES que probablemente estarán activas en las condiciones de los procedimientos de ensayo del presente Reglamento;
- b) una descripción de la lógica de control del sistema de combustible, las estrategias de temporización y los puntos de conmutación durante todos los modos de funcionamiento.

12. La documentación ampliada contemplada en el apartado 11 será estrictamente confidencial. Podrá conservarla la autoridad de homologación o, a discreción de esta, el fabricante. En caso de que el fabricante conserve la documentación, esta deberá ser identificada y fechada por la autoridad de homologación una vez revisada y aprobada. La documentación se pondrá a disposición de la autoridad de homologación para su inspección en el momento de la homologación o en cualquier momento durante el período de validez de la homologación.».

5. El apéndice 6 del anexo I queda modificado con arreglo a lo dispuesto en el anexo I del presente Reglamento.

6. El anexo IIIA queda modificado con arreglo a lo dispuesto en el anexo II del presente Reglamento.

Artículo 2

El presente Reglamento entrará en vigor a los veinte días de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

El presente Reglamento será obligatorio en todos sus elementos y directamente aplicable en cada Estado miembro.

Hecho en Bruselas, el 20 de abril de 2016.

Por la Comisión
El Presidente
Jean-Claude JUNCKER

ANEXO I

En el apéndice 6 del anexo I del Reglamento (CE) n.º 692/2008, el cuadro 1 se modifica como sigue:

1) Las filas ZD, ZE y ZF se sustituyen por el texto siguiente:

«ZD	Euro 6c	Euro 6-2	M, N1 clase I	PI, CI		1.9.2018	31.8.2019
ZE	Euro 6c	Euro 6-2	N1 clase II	PI, CI		1.9.2019	31.8.2020
ZF	Euro 6c	Euro 6-2	N1 clase III, N2	PI, CI		1.9.2019	31.8.2020»

2) Después de la fila ZF se insertan las filas siguientes:

«ZG	Euro 6d-TEMP	Euro 6-2	M, N1 clase I	PI, CI	1.9.2017	1.9.2019	31.12.2020
ZH	Euro 6d-TEMP	Euro 6-2	N1 clase II	PI, CI	1.9.2018	1.9.2020	31.12.2021
ZI	Euro 6d-TEMP	Euro 6-2	N1 clase III, N2	PI, CI	1.9.2018	1.9.2020	31.12.2021
ZJ	Euro 6d	Euro 6-2	M, N1 clase I	PI, CI	1.1.2020	1.1.2021	
ZK	Euro 6d	Euro 6-2	N1 clase II	PI, CI	1.1.2021	1.1.2022	
PLN	Euro 6d	Euro 6-2	N1 clase III, N2	PI, CI	1.1.2021	1.1.2022»	

3) En la clave del cuadro, después del párrafo relativo a la norma de emisiones «Euro 6b» se insertan los párrafos siguientes:

«Norma de emisiones “Euro 6c” = requisitos de emisiones Euro 6 completos, pero sin requisitos de RDE cuantitativos, es decir: norma de emisiones Euro 6b, normas definitivas de número de partículas para vehículos de encendido por chispa, con E10 y B7 como combustibles de referencia (si procede) evaluados en un ciclo reglamentario de ensayos de laboratorio, y en ensayos de RDE solo con fines de seguimiento (sin aplicar límites de emisiones no sobrepasables).

Norma de emisiones “Euro 6d-TEMP” = requisitos de emisiones Euro 6 completos, es decir: norma de emisiones Euro 6b, normas definitivas de número de partículas para vehículos de encendido por chispa, con E10 y B7 como combustibles de referencia (si procede) evaluados en un ciclo reglamentario de ensayos de laboratorio, y en ensayos de RDE con factores de conformidad temporales;».

4) En la clave del cuadro, el párrafo relativo a la norma de emisiones «Euro 6c» se sustituye por el texto siguiente:

«Norma de emisiones “Euro 6d” = requisitos de emisiones Euro 6 completos, es decir: norma de emisiones Euro 6b, normas definitivas de número de partículas para vehículos de encendido por chispa, con E10 y B7 como combustibles de referencia (si procede) evaluados en un ciclo reglamentario de ensayos de laboratorio, y en ensayos de RDE con factores de conformidad definitivos;».

ANEXO II

El anexo IIIA del Reglamento (CE) n.º 692/2008 se modifica como sigue:

1) El punto 2.1 se sustituye por el texto siguiente:

«2.1. Límites de emisiones no sobrepasables

Las emisiones a lo largo de la vida normal de un tipo de vehículo homologado con arreglo al Reglamento (CE) n.º 715/2007, determinadas con arreglo a los requisitos del presente anexo y emitidas en cualquier ensayo posible de RDE efectuado de conformidad con los requisitos del presente anexo, no superarán los siguientes valores NTE (*not-to-exceed*, no sobrepasables):

$$NTE_{\text{pollutant}} = CF_{\text{pollutant}} \times TF(p1, \dots, pn) \times \text{EURO-6}$$

donde EURO-6 es el límite de emisiones Euro 6 aplicable establecido en el cuadro 2 del anexo I del Reglamento (CE) n.º 715/2007.».

2) Se insertan los puntos 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3 siguientes:

«2.1.1. Factores de conformidad definitivos

El factor de conformidad $CF_{\text{pollutant}}$ para el contaminante respectivo se especifica como sigue:

Contaminante	Masa de óxidos de nitrógeno (NO _x)	Número de partículas (PN)	Masa de monóxido de carbono (CO) (1)	Masa de hidrocarburos totales (THC)	Masa combinada de hidrocarburos totales y óxidos de nitrógeno (THC + NO _x)
$CF_{\text{pollutant}}$	1 + <i>margen</i> con <i>margen</i> = 0,5	por determinar	—	—	—

(1) Las emisiones de CO se medirán y registrarán en ensayos de RDE.

El “*margen*” es un parámetro que tiene en cuenta las incertidumbres de la medición adicionales introducidas por el equipo de PEMS, que están sujetas a reexamen periódico y que se revisarán a raíz de la mejora de la calidad del procedimiento de PEMS o del progreso técnico.

2.1.2. Factores de conformidad temporales

No obstante lo dispuesto en el punto 2.1.1, durante un período de cinco años y cuatro meses después de las fechas indicadas en el artículo 10, apartados 4 y 5, del Reglamento (CE) n.º 715/2007, y a petición del fabricante, podrán aplicarse los siguientes factores de conformidad temporales:

Contaminante	Masa de óxidos de nitrógeno (NO _x)	Número de partículas (PN)	Masa de monóxido de carbono (CO) (1)	Masa de hidrocarburos totales (THC)	Masa combinada de hidrocarburos totales y óxidos de nitrógeno (THC + NO _x)
$CF_{\text{pollutant}}$	2,1	por determinar	—	—	—

(1) Las emisiones de CO se medirán y registrarán en ensayos de RDE.

La aplicación de factores de conformidad temporales se indicará en el certificado de conformidad del vehículo.

2.1.3. Funciones de transferencia

La función de transferencia $TF(p_1, \dots, p_n)$ a la que se refiere el punto 2.1 se fija en 1 para todo el intervalo de parámetros p_i ($i = 1, \dots, n$).

Si se modifica la función de transferencia $TF(p_1, \dots, p_n)$, se hará de manera que no vaya en detrimento del impacto ambiental ni de la eficacia de los procedimientos de ensayo de RDE. En particular, deberá mantenerse la condición siguiente:

$$\int TF(p_1, \dots, p_n) * Q(p_1, \dots, p_n) dp = \int Q(p_1, \dots, p_n) dp$$

donde:

- dp representa la integral en todo el espacio de los parámetros p_i ($i = 1, \dots, n$)
- $Q(p_1, \dots, p_n)$ es la densidad de probabilidad de un evento correspondiente a los parámetros p_i ($i = 1, \dots, n$) en condiciones reales de conducción.»

3) Se inserta el punto 3.1.0 siguiente:

«3.1.0. Los requisitos del punto 2.1 deberán cumplirse en relación con la parte urbana y con el trayecto total con PEMS. A elección del fabricante, deberán cumplirse las condiciones de por lo menos uno de los puntos siguientes:

3.1.0.1. $M_{gas,d,t} \leq NTE_{pollutant}$ y $M_{gas,d,u} \leq NTE_{pollutant}$ con las definiciones del punto 2.1 del presente anexo y de los puntos 6.1 y 6.3 del apéndice 5 y el ajuste $gas = contaminante$.

3.1.0.2. $M_{w,gas,d} \leq NTE_{pollutant}$ y $M_{w,gas,d,U} \leq NTE_{pollutant}$ con las definiciones del punto 2.1 del presente anexo y del punto 3.9 del apéndice 6 y el ajuste $gas = contaminante$ ».

4) Se suprime el punto 5.3.

5) El punto 5.4 se sustituye por el texto siguiente:

«5.4. Condiciones dinámicas

Las condiciones dinámicas abarcan el efecto de la pendiente de la carretera, del viento de frente, de la dinámica de la conducción (aceleraciones y deceleraciones) y de los sistemas auxiliares en el consumo de energía y en las emisiones del vehículo de ensayo. La verificación de la normalidad de las condiciones dinámicas se efectuará una vez completado el ensayo, utilizando los datos registrados del PEMS. Esta verificación se realizará en dos etapas:

5.4.1. Deberán comprobarse el exceso o la insuficiencia generales de la dinámica de la conducción durante el trayecto, utilizando los métodos descritos en el apéndice 7 bis del presente anexo.

5.4.2. Si el trayecto resulta válido tras efectuar las verificaciones conforme al punto 5.4.1, deben aplicarse los métodos de verificación de la normalidad de las condiciones dinámicas establecidos en los apéndices 5 y 6 del presente anexo. Cada método incluye una referencia relativa a las condiciones dinámicas, los márgenes en torno a la referencia y los requisitos mínimos de cobertura para lograr un ensayo válido.»

6) El punto 6.8 se sustituye por el texto siguiente:

«6.8. La velocidad media (incluyendo las paradas) de la parte de conducción en zona urbana del trayecto debe situarse entre 15 y 40 km/h. Las paradas, definidas como los períodos en los que la velocidad del vehículo es inferior a 1 km/h, deberán representar entre un 6 y un 30 % de la duración del funcionamiento en zona urbana. El funcionamiento en zona urbana incluirá varias paradas de diez segundos o más. Si una parada dura más de ciento ochenta segundos, se excluirán de la evaluación los eventos de emisión ocurridos durante los ciento ochenta segundos siguientes a esa parada excesivamente prolongada.»

7) En el punto 6.11 se añade la frase siguiente:

«Además, la ganancia de altitud positiva acumulativa proporcional deberá ser inferior a 1 200 m/100 km y determinarse conforme al apéndice 7 ter.»

8) El punto 9.5 se sustituye por el texto siguiente:

«9.5. Si durante un intervalo de tiempo particular se amplían las condiciones ambientales de conformidad con el punto 5.2, durante ese intervalo de tiempo particular las emisiones calculadas de acuerdo con el apéndice 4 se dividirán por un valor de 1,6 antes de evaluar su conformidad con los requisitos del presente anexo.»

9) El apéndice 1 se modifica como sigue:

a) en el punto 3.4.6 se añade la frase siguiente:

«Se permite que el suministro de corriente para la iluminación, relacionada con la seguridad, de elementos fijos e instalaciones de componentes de PEMS situados fuera de la cabina del vehículo proceda de la batería de este.»

b) en el punto 4.5 se añade la frase siguiente:

«Para minimizar la deriva de los analizadores, conviene realizar la calibración del cero y del rango de estos a una temperatura ambiente lo más parecida posible a la soportada por el equipo de ensayo durante el trayecto de RDE.»

10) En el apéndice 2, la nota 2 del cuadro 4 del punto 8 se sustituye por el texto siguiente:

«(2) Este requisito general se aplica solo a los sensores de velocidad; si se utiliza la velocidad del vehículo para determinar parámetros como la aceleración, el producto de la velocidad y la aceleración positiva, o aceleración positiva relativa, la señal de velocidad deberá tener una exactitud del 0,1 % por encima de los 3 km/h y una frecuencia de muestreo de 1 Hz. Este requisito de exactitud podrá cumplirse utilizando la señal de un sensor de velocidad de giro de las ruedas.»

11) En el apéndice 6, en el punto 2, se suprime la definición:

«a_i Aceleración real en la etapa de tiempo i, si no se define otra en la ecuación:

$$a_i = \frac{(v_{i+1} - v_i)}{3,6 \times (t_{i+1} - t_i)}, [\text{m/s}^2].$$

12) En el apéndice 6, en el punto 2, se insertan las siguientes definiciones:

$\overline{m}_{\text{gas,U}}$	Valor de emisiones ponderado del componente «gas» de un gas de escape correspondiente a la submuestra de todos los segundos i con $v_i < 60$ km/h, g/s
$M_{\text{w,gas,d,U}}$	Emisiones ponderadas específicas de la distancia del componente «gas» de un gas de escape correspondientes a la submuestra de todos los segundos i con $v_i < 60$ km/h, g/km
\overline{v}_U	Velocidad ponderada del vehículo en la clase de potencia de rueda j, km/h».

13) En el apéndice 6, en el punto 3.1, el párrafo primero se sustituye por el texto siguiente:

«La potencia de rueda real P_{rei} será la potencia total necesaria para superar la resistencia del aire, la resistencia a la rodadura, las pendientes de la carretera, la inercia longitudinal del vehículo y la inercia giratoria de las ruedas.»

14) En el apéndice 6, el punto 3.2 se sustituye por el texto siguiente:

«3.2. Clasificación de las medias móviles en las partes urbana, rural y en autopista

Las frecuencias de potencia estandarizada están definidas para la conducción en zona urbana y el trayecto total (véase el punto 3.4) y deberá hacerse una evaluación por separado de las emisiones del trayecto total y de la parte urbana. En consecuencia, las medias móviles de tres segundos calculadas de conformidad con el punto 3.3 se asignarán posteriormente a las condiciones de conducción en zona urbana y extraurbana según la señal de velocidad (v_i) del segundo real i tal como se indica en el cuadro 1-1.

Cuadro 1-1

Intervalos de velocidad para la asignación de los datos de ensayo a las condiciones en zona urbana, en zona rural y en autopista en el método de discretización en intervalos de potencia

	Zona urbana	Zona rural	Autopista
v_i [km/h]	0 a \leq 60	> 60 a \leq 90	> 90»

15) En el apéndice 6, el punto 3.9 se sustituye por el texto siguiente:

«3.9. Cálculo del valor ponderado de las emisiones específicas de la distancia

Las medias ponderadas de las emisiones basadas en el tiempo obtenidas en el ensayo se convertirán en emisiones basadas en la distancia, una vez para el conjunto de datos de la parte urbana y una vez para el conjunto de datos total:

$$\text{trayecto total: } M_{w, \text{gas}, d} = 1\,000 \cdot \frac{\bar{m}_{\text{gas}} \times 3\,600}{\bar{v}}$$

$$\text{parte urbana del trayecto: } M_{w, \text{gas}, d, U} = 1\,000 \cdot \frac{\bar{m}_{\text{gas}, U} \times 3\,600}{\bar{v}_U}$$

Mediante estas fórmulas, se calcularán las medias ponderadas de los contaminantes siguientes correspondientes al trayecto total y a la parte urbana del trayecto:

$M_{w, \text{NO}_x, d}$ resultado ponderado del ensayo sobre NO_x en [mg/km]

$M_{w, \text{NO}_x, d, U}$ resultado ponderado del ensayo sobre NO_x en [mg/km]

$M_{w, \text{CO}, d}$ resultado ponderado del ensayo sobre CO en [mg/km]

$M_{w, \text{CO}, d, U}$ resultado ponderado del ensayo sobre CO en [mg/km]».

16) Se insertan los apéndices 7 bis y 7 ter siguientes:

«Apéndice 7 bis

Verificación de la dinámica general del trayecto

1. INTRODUCCIÓN

En el presente apéndice se describen los procedimientos de cálculo para verificar la dinámica general del trayecto, a fin de determinar el exceso o la ausencia generales de dinámica durante la conducción en zona urbana, en zona rural y en autopista.

2. SÍMBOLOS

RPA Aceleración positiva relativa (*relative positive acceleration*)

“resolución de la aceleración a_{res} ”, aceleración mínima > 0 medida en m/s^2

Suavizador de datos compuesto T4253H

“aceleración positiva a_{pos} ”, aceleración [m/s^2] superior a $0,1 \text{ m/s}^2$

El índice (i) se refiere a la etapa de tiempo.

El índice (j) se refiere a la etapa de tiempo de los conjuntos de datos de aceleración positiva.

El índice (k) se refiere a la categoría (t = total, u = urbana, r = rural, m = autopista [motorway]).

Δ	— diferencia
$>$	— superior a
\geq	— superior o igual a
%	— por ciento
$<$	— inferior a
\leq	— inferior o igual a
a	— aceleración [m/s^2]
a_i	— aceleración en la etapa de tiempo i [m/s^2]
a_{pos}	— aceleración positiva superior a $0,1 \text{ m/s}^2$ [m/s^2]
$a_{\text{pos},i,k}$	— aceleración positiva superior a $0,1 \text{ m/s}^2$ en la etapa de tiempo i teniendo en cuenta las partes urbana, rural y en autopista [m/s^2]
a_{res}	— resolución de la aceleración [m/s^2]
d_i	— distancia recorrida en la etapa de tiempo i [m]
$d_{i,k}$	— distancia recorrida en la etapa de tiempo i teniendo en cuenta las partes urbana, rural y en autopista [m]
M_k	— número de muestras correspondientes a las partes urbana, rural y en autopista con una aceleración positiva superior a $0,1 \text{ m/s}^2$
N_k	— número total de muestras correspondientes a las partes urbana, rural y en autopista y al trayecto completo
RPA_k	— aceleración positiva relativa correspondiente a las partes urbana, rural y en autopista [m/s^2 o $\text{kWs}/(\text{kg} \times \text{km})$]
t_k	— duración de las partes urbana, rural y en autopista y del trayecto completo [s]
v	— velocidad del vehículo [km/h]
v_i	— velocidad real del vehículo en la etapa de tiempo i [km/h]
$v_{i,k}$	— velocidad real del vehículo en la etapa de tiempo i teniendo en cuenta las partes urbana, rural y en autopista [km/h]
$(v \cdot a)_i$	— velocidad real del vehículo por aceleración en la etapa de tiempo i [m^2/s^3 o W/kg]
$(v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}$	— velocidad real del vehículo por aceleración positiva superior a $0,1 \text{ m/s}^2$ en la etapa de tiempo j teniendo en cuenta las partes urbana, rural y en autopista [m^2/s^3 o W/kg]
$(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95]$	— percentil 95 del producto de la velocidad del vehículo por la aceleración positiva superior a $0,1 \text{ m/s}^2$ correspondiente a las partes urbana, rural y en autopista [m^2/s^3 o W/kg]
\bar{v}_k	— velocidad media del vehículo correspondiente a las partes urbana, rural y en autopista [km/h]

3. INDICADORES DEL TRAYECTO

3.1. Cálculos

3.1.1. Pretratamiento de los datos

Parámetros dinámicos como la aceleración, $v \cdot a_{\text{pos}}$ la o la RPA se determinarán con una señal de velocidad de una exactitud del 0,1 % por encima de 3 km/h y una frecuencia de muestreo de 1 Hz. Este requisito de exactitud generalmente se cumple con señales de velocidad (de giro) de la rueda.

Deberá comprobarse que la curva de velocidad no presente secciones defectuosas o inverosímiles. La curva de velocidad del vehículo de tales secciones se caracteriza por escalones, saltos, curvas de velocidad en terraza o valores ausentes. Deberán corregirse las secciones defectuosas breves, por ejemplo mediante interpolación de datos o medición con referencia a una señal de velocidad secundaria. Otra alternativa es excluir del subsiguiente análisis de datos los trayectos breves que contengan secciones defectuosas. En una segunda fase, los valores de aceleración se clasificarán en orden creciente, a fin de determinar la resolución de la aceleración a_{res} = (valor mínimo de aceleración > 0).

Si $a_{res} \leq 0,01 \text{ m/s}^2$, la medición de la velocidad del vehículo es suficientemente exacta.

Si $0,01 < a_{res} \leq r_{max} \text{ m/s}^2$, debe procederse al suavizado con un filtro Hanning T4253.

Si $a_{res} > r_{max} \text{ m/s}^2$, el trayecto no es válido.

El filtro Hanning T4253 realiza los siguientes cálculos: El suavizador comienza con una mediana móvil de 4, centrada con una mediana móvil de 2. A continuación, vuelve a suavizar estos valores aplicando una mediana móvil de 5, una mediana móvil de 3 y el filtro Hanning (medias ponderadas móviles). Los valores residuales se calculan restando la serie suavizada de la serie original. Luego se repite todo este proceso con los valores residuales calculados. Por último, los valores residuales suavizados se calculan restando los valores suavizados obtenidos la primera vez en el proceso.

La curva de velocidad correcta constituye la base para los cálculos posteriores y la discretización en intervalos, según se describe en el punto 3.1.2.

3.1.2. Cálculo de la distancia, la aceleración y la $v \cdot a$

Los cálculos siguientes se realizarán en toda la curva de velocidad de base temporal (resolución de 1 Hz) desde el segundo 1 hasta el segundo t_i (último segundo).

El incremento de la distancia por muestra de datos se calculará como sigue:

$$d_i = v_i/3,6, i = 1 \text{ a } N_i$$

donde:

d_i es la distancia recorrida en la etapa de tiempo i [m],

v_i es la velocidad real del vehículo en la etapa de tiempo i [km/h],

N_i es el número total de muestras.

La aceleración se calculará como sigue:

$$a_i = (v_{i+1} - v_{i-1})/(2 \cdot 3,6), i = 1 \text{ a } N_i$$

donde:

a_i es la aceleración en la etapa de tiempo i [m/s^2]. Para $i = 1$: $v_{i-1} = 0$ para $i = N_i$: $v_{i+1} = 0$.

El producto de la velocidad del vehículo por la aceleración se calculará como sigue:

$$(v \cdot a)_i = v_i \cdot a_i/3,6, i = 1 \text{ a } N_i$$

donde:

$(v \cdot a)_i$ es el producto de la velocidad real del vehículo por la aceleración en la etapa de tiempo i [m^2/s^3 o W/kg].

3.1.3. Discretización en intervalos de los resultados

Tras calcular a_i y $(v \cdot a)_i$, los valores v_i , d_i , a_i y $(v \cdot a)_i$ se clasificarán en orden creciente de la velocidad del vehículo.

Todos los conjuntos de datos con $v_i \leq 60 \text{ km/h}$ pertenecen al intervalo de velocidad «urbana», todos los conjuntos de datos con $60 \text{ km/h} < v_i \leq 90 \text{ km/h}$ pertenecen al intervalo de velocidad «rural» y todos los conjuntos de datos con $v_i > 90 \text{ km/h}$ pertenecen al intervalo de velocidad «en autopista».

El número de conjuntos de datos con valores de aceleración $a_i > 0,1 \text{ m/s}^2$ deberá ser superior o igual a 150 en cada intervalo de velocidad.

Con respecto a cada intervalo de velocidad, la velocidad media del vehículo \bar{v}_k se calculará como sigue:

$$\bar{v}_k = \left(\sum_i v_{i,k} \right) / N_k, \quad i = 1 \text{ a } N_k, k = u, r, m$$

donde:

N_k es el número total de muestras de las partes urbana, rural y en autopista.

3.1.4. Cálculo de la $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ por intervalo de velocidad

El percentil 95 de los valores de $v \cdot a_{\text{pos}}$ se calculará como sigue:

Los valores de $(v \cdot a)_{i,k}$ en cada intervalo de velocidad se clasificarán en orden creciente con respecto a todos los conjuntos de datos con $a_{i,k} \geq 0,1 \text{ m/s}^2$, y se determinará el número total de estas muestras M_k .

A continuación se asignarán los valores de percentil a los valores de $(v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}$ con $a_{i,k} \geq 0,1 \text{ m/s}^2$ como sigue:

El valor de $v \cdot a_{\text{pos}}$ más bajo recibe el percentil $1/M_k$, el segundo más bajo el percentil $2/M_k$, el tercero más bajo el percentil $3/M_k$ y el valor más alto el percentil $M_k/M_k = 100 \%$.

$(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95]$ es el valor de $(v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}$, con $j/M_k = 95 \%$. Si $j/M_k = 95 \%$ no puede cumplirse, $(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95]$ se calculará mediante interpolación lineal entre las muestras consecutivas j y $j+1$ con $j/M_k < 95 \%$ y $(j+1)/M_k > 95 \%$.

La aceleración positiva relativa por intervalo de velocidad se calculará como sigue:

$$RPA_k = \sum_j (\Delta t \cdot (v \cdot a_{\text{pos}})_{j,k}) / \sum_i d_{i,k}, \quad j = 1 \text{ a } M_k, i = 1 \text{ a } N_k, k = u, r, m$$

donde:

RPA_k es la aceleración positiva relativa correspondiente a las partes urbana, rural y en autopista en $[\text{m/s}^2 \text{ o } \text{kWs}/(\text{kg} \cdot \text{km})]$,

Δt es la diferencia de tiempo igual a 1 segundo,

M_k es el número de muestras correspondientes a las partes urbana, rural y en autopista con aceleración positiva,

N_k es el número total de muestras de las partes urbana, rural y en autopista.

4. VERIFICACIÓN DE LA VALIDEZ DEL TRAYECTO

4.1.1. Verificación de la $v \cdot a_{\text{pos}}[95]$ por intervalo de velocidad (v en $[\text{km/h}]$)

Si se cumplen $\bar{v}_k \leq 74,6 \text{ km/h}$

y

$$(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95] > (0,136 \cdot \bar{v}_k + 14,44),$$

el trayecto no es válido.

Si se cumplen $\bar{v}_k > 74,6 \text{ km/h}$ y $(v \cdot a_{\text{pos}})_{k-}[95] > (0,0742 \cdot \bar{v}_k + 18,966)$, el trayecto no es válido.

4.1.2. Verificación de la RPA por intervalo de velocidad

Si se cumplen $\bar{v}_k \leq 94,05 \text{ km/h}$ y $RPA_k < (-0,0016 \cdot \bar{v}_k + 0,1755)$, el trayecto no es válido.

Si se cumplen $\bar{v}_k > 94,05 \text{ km/h}$ y $RPA_k < 0,025$ el trayecto no es válido.

Apéndice 7 ter

Procedimiento para determinar la ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto

1. INTRODUCCIÓN

El presente apéndice describe el procedimiento para determinar la ganancia de altitud acumulativa de un trayecto de RDE.

2. SÍMBOLOS

$d(0)$	— distancia al comienzo de un trayecto [m]
d	— distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m]
d_0	— distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m]
d_1	— distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m]
d_a	— punto de ruta de referencia en $d(0)$ [m]
d_e	— distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m]
d_i	— distancia instantánea [m]
d_{tot}	— distancia total del ensayo [m]
$h(0)$	— altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos al comienzo de un trayecto [m sobre el nivel del mar]
$h(t)$	— altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto t [m sobre el nivel del mar]
$h(d)$	— altitud del vehículo en el punto de ruta d [m sobre el nivel del mar]
$h(t-1)$	— altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto $t-1$ [m sobre el nivel del mar]
$h_{corr}(0)$	— altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar]
$h_{corr}(1)$	— altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar]
$h_{corr}(t)$	— altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar]
$h_{corr}(t-1)$	— altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos $t-1$ [m sobre el nivel del mar]
$h_{GPS,i}$	— altitud instantánea del vehículo medida con GPS [m sobre el nivel del mar]
$h_{GPS}(t)$	— altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar]
$h_{int}(d)$	— altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar]
$h_{int,sm,1}(d)$	— altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar]
$h_{map}(t)$	— altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar]
Hz	— hertzio
km/h	— kilómetros por hora
m	— metro

$road_{grade,1}(d)$	— pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado d tras la primera ronda de suavizado [m/m]
$road_{grade,2}(d)$	— pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado d tras la segunda ronda de suavizado [m/m]
sin	— función sinusoidal trigonométrica
t	— tiempo transcurrido desde el comienzo del ensayo [s]
t_0	— tiempo transcurrido en el momento de la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [s]
v_i	— velocidad instantánea del vehículo [km/h]
$v(t)$	— velocidad del vehículo en el punto de datos t [km/h]

3. REQUISITOS GENERALES

La ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto de RDE se determinará en función de tres parámetros: la altitud instantánea del vehículo $h_{GPS,i}$ [m sobre el nivel del mar] medida con el GPS, la velocidad instantánea del vehículo v_i [km/h] registrada con una frecuencia de 1 Hz y el tiempo t [s] correspondiente transcurrido desde que comenzó el ensayo.

4. CÁLCULO DE LA GANANCIA DE ALTITUD POSITIVA ACUMULATIVA

4.1. Generalidades

La ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto de RDE se calculará siguiendo un procedimiento de tres fases: i) examen y verificación fundamental de la calidad de los datos, ii) corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo, y iii) cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa.

4.2. Examen y verificación fundamental de la calidad de los datos

Deberá comprobarse que los datos de la velocidad instantánea del vehículo estén completos. Se permite corregir la falta de datos si las lagunas se mantienen dentro de los requisitos especificados en el punto 7 del apéndice 4; de lo contrario se invalidarán los resultados del ensayo. Deberá comprobarse que los datos de la altitud instantánea del vehículo estén completos. Las lagunas de datos se completarán mediante interpolación de datos. La corrección de los datos interpolados se verificará mediante un mapa topográfico. Se recomienda corregir los datos interpolados si se da la siguiente condición:

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40 \text{ m}$$

La corrección de la altitud se aplicará de forma que:

$$h(t) = h_{map}(t)$$

donde:

$h(t)$	— altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],
$h_{GPS}(t)$	— altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],
$h_{map}(t)$	— altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar].

4.3. Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo

La altitud $h(0)$ al comienzo de un trayecto en $d(0)$ se obtendrá con GPS, y a continuación se verificará que es correcta con la información proporcionada por un mapa topográfico. La desviación no deberá ser superior a 40 m. Los datos de altitud instantánea $h(t)$ deberán corregirse si se da la siguiente condición:

$$|h(t) - h(t-1)| > (v(t)/3,6 * \sin 45^\circ)$$

La corrección de la altitud se aplicará de forma que:

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t-1)$$

donde:

- $h(t)$ — altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],
- $h(t - 1)$ — altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos $t-1$ [m sobre el nivel del mar],
- $v(t)$ — velocidad del vehículo en el punto de datos t [km/h],
- $h_{corr}(t)$ — altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t [m sobre el nivel del mar],
- $h_{corr}(t - 1)$ — altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos $t-1$ [m sobre el nivel del mar].

Tras completarse el procedimiento de corrección, queda establecido un conjunto válido de datos de altitud. Este conjunto de datos se utilizará para el cálculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa según se describe en el punto 4.4.

4.4. Cálculo final de la ganancia de altitud positiva acumulativa

4.4.1. Establecimiento de una resolución espacial uniforme

La distancia total d_{tot} [m] cubierta por un trayecto se determinará sumando las distancias instantáneas d_i . La distancia instantánea d_i se determinará como:

$$d_i = \frac{v_i}{3,6}$$

donde:

- d_i — distancia instantánea [m],
- v_i — velocidad instantánea del vehículo [km/h].

La ganancia de altitud acumulativa se calculará a partir de datos con una resolución espacial constante de 1 m, empezando desde la primera medición al inicio de un trayecto $d(0)$. Los puntos de datos discretos con una resolución de 1 m se denominan puntos de ruta y se caracterizan por un valor de distancia específico d (por ejemplo, 0, 1, 2, 3 m ...) y su correspondiente altitud $h(d)$ [m sobre el nivel del mar].

La altitud de cada punto de ruta discreto d se calculará interpolando la altitud instantánea $h_{corr}(t)$ como:

$$h_{int}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} \cdot (d - d_0)$$

donde:

- $h_{int}(d)$ — altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar],
- $h_{corr}(0)$ — altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar],
- $h_{corr}(1)$ — altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m sobre el nivel del mar],
- d — distancia acumulativa recorrida hasta el punto de ruta discreto considerado d [m],

- d_0 — distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m],
- d_1 — distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m].

4.4.2. Suavizado adicional de los datos

Los datos de altitud obtenidos con respecto a cada punto de ruta discreto se suavizarán siguiendo un procedimiento de dos fases. d_a y d_e son los puntos de ruta primero y último, respectivamente (figura 1). La primera ronda de suavizado se aplicará como sigue:

$$\begin{aligned} \text{road}_{\text{grade},1}(d) &= \frac{h_{\text{int}}(d + 200 \text{ m}) - h_{\text{int}}(d_a)}{(d + 200 \text{ m})} \text{ para } d \leq 200 \text{ m} \\ \text{road}_{\text{grade},1}(d) &= \frac{h_{\text{int}}(d + 200 \text{ m}) - h_{\text{int}}(d - 200 \text{ m})}{(d + 200 \text{ m}) - (d - 200 \text{ m})} \text{ para } 200 \text{ m} < d < (d_e - 200 \text{ m}) \\ \text{road}_{\text{grade},1}(d) &= \frac{h_{\text{int}}(d_e) - h_{\text{int}}(d - 200 \text{ m})}{d_e - (d - 200 \text{ m})} \text{ para } d \geq (d_e - 200 \text{ m}) \\ h_{\text{int,sm},1}(d) &= h_{\text{int,sm},1}(d - 1 \text{ m}) + \text{road}_{\text{grade},1}(d), \quad d = d_a + 1 \text{ a } d_e \\ h_{\text{int,sm},1}(d_a) &= h_{\text{int}}(d_a) + \text{road}_{\text{grade},1}(d_a) \end{aligned}$$

donde:

- $\text{road}_{\text{grade},1}(d)$ — pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la primera ronda de suavizado [m/m],
- $h_{\text{int}}(d)$ — altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar],
- $h_{\text{int,sm},1}(d)$ — altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar],
- d — distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m],
- d_a — punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],
- d_e — distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

La segunda ronda de suavizado se aplicará como sigue:

$$\begin{aligned} \text{road}_{\text{grade},2}(d) &= \frac{h_{\text{int,sm},1}(d + 200 \text{ m}) - h_{\text{int,sm},1}(d_a)}{(d + 200 \text{ m})} \text{ para } d \leq 200 \text{ m} \\ \text{road}_{\text{grade},2}(d) &= \frac{h_{\text{int,sm},1}(d + 200 \text{ m}) - h_{\text{int,sm},1}(d - 200 \text{ m})}{(d + 200 \text{ m}) - (d - 200 \text{ m})} \text{ para } 200 \text{ m} < d < (d_e - 200 \text{ m}) \\ \text{road}_{\text{grade},2}(d) &= \frac{h_{\text{int,sm},1}(d_e) - h_{\text{int,sm},1}(d - 200 \text{ m})}{d_e - (d - 200 \text{ m})} \text{ para } d \geq (d_e - 200 \text{ m}) \end{aligned}$$

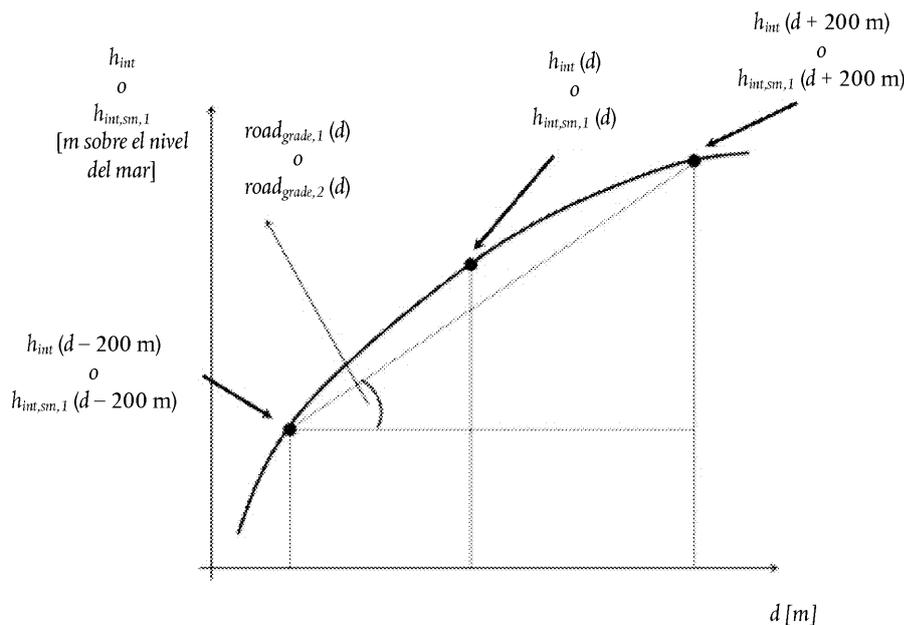
donde:

- $\text{road}_{\text{grade},2}(d)$ — pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la segunda ronda de suavizado [m/m],
- $h_{\text{int,sm},1}(d)$ — altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d [m sobre el nivel del mar],

- d — distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m]
- d_a — punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],
- d_e — distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

Figura 1

Ilustración del procedimiento para suavizar las señales de altitud interpoladas



4.4.3. Cálculo del resultado final

La ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto se calculará integrando todas las pendientes positivas de la carretera interpoladas y suavizadas, es decir, $road_{grade,2}(d)$. Conviene normalizar el resultado por la distancia total del ensayo d_{tot} y expresarlo en metros de ganancia de altitud acumulativa por cada cien kilómetros de distancia.

5. EJEMPLO NUMÉRICO

Los cuadros 1 y 2 muestran las fases para calcular la ganancia de altitud positiva a partir de los datos registrados durante un ensayo en carretera con PEMS. En aras de la brevedad se presenta aquí un extracto de 800 m y 160 s.

5.1. Examen y verificación fundamental de la calidad de los datos

El examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos constan de dos fases. En primer lugar se comprueba que los datos de velocidad del vehículo estén completos. En la presente muestra de datos no se detectan lagunas en relación con los datos de velocidad del vehículo (véase el cuadro 1). En segundo lugar se comprueba que los datos de altitud estén completos; en esta muestra de datos faltan los datos de altitud relativos a los segundos 2 y 3. Las lagunas se completan interpolando la señal del GPS. Además, la altitud indicada por el GPS se verifica con un mapa topográfico; se incluye en esta verificación la altitud $h(0)$ al inicio del trayecto. Los datos de altitud relativos a los segundos 112-114 se corrigen sobre la base del mapa topográfico para cumplir la condición siguiente:

$$h_{GPS}(t) - h_{map}(t) < -40 \text{ m}$$

Como resultado de la verificación de datos aplicada se obtienen los datos de la quinta columna $h(t)$.

5.2. Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo

El siguiente paso es corregir los datos de altitud $h(t)$ de los segundos 1 a 4, 111 a 112 y 159 a 160 suponiendo los valores de altitud de los segundos 0, 110 y 158, respectivamente, ya que se da la condición siguiente:

$$|h(t) - h(t - 1)| > (v(t)/3,6 * \sin 45^\circ)$$

Como resultado de la corrección de datos aplicada se obtienen los datos de la sexta columna $h_{corr}(t)$. El efecto de las fases de verificación y corrección aplicadas a los datos de altitud se representa gráficamente en la figura 2.

5.3. Cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa

5.3.1. Establecimiento de una resolución espacial uniforme

La distancia instantánea d_i se calcula dividiendo la velocidad instantánea del vehículo medida en km/h por 3,6 (columna 7 del cuadro 1). El recálculo de los datos de altitud para obtener una resolución espacial uniforme de 1 m produce los puntos de ruta discretos d (columna 1 del cuadro 2) y sus correspondientes valores de altitud $h_{int}(d)$ (columna 7 del cuadro 2). La altitud de cada punto de ruta discreto d se calcula interpolando la altitud instantánea medida $h_{corr}(t)$ como:

$$h_{int}(0) = 120,3 + \frac{120,3 - 120,3}{0,1 - 0,0} \cdot (0 - 0) = 120,3000$$

$$h_{int}(520) = 132,5 + \frac{132,6 - 132,5}{523,6 - 519,9} \cdot (520 - 519,9) = 132,5027$$

5.3.2. Suavizado adicional de los datos

En el cuadro 2, los puntos de ruta discretos primero y último son: $d_a = 0$ m y $d_e = 799$ m, respectivamente. Los datos de altitud de cada punto de ruta discreto se suavizan siguiendo un procedimiento de dos fases. La primera ronda de suavizado consiste en:

$$road_{grade,1}(0) = \frac{h_{int}(200\text{ m}) - h_{int}(0)}{(0 + 200\text{ m})} = \frac{120,9682 - 120,3000}{200} = 0,0033$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $d \leq 200$ m

$$road_{grade,1}(320) = \frac{h_{int}(520) - h_{int}(120)}{(520) - (120)} = \frac{132,5027 - 121,9808}{400} = 0,0288$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $200\text{ m} < d < (599\text{ m})$

$$road_{grade,1}(720) = \frac{h_{int}(799) - h_{int}(520)}{799 - (520)} = \frac{121,2000 - 132,5027}{279} = -0,0405$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $d \geq (599\text{ m})$

La altitud suavizada e interpolada se calcula como sigue:

$$h_{int,sm,1}(0) = h_{int}(0) + road_{grade,1}(0) = 120,3 + 0,0033 \approx 120,3033\text{ m}$$

$$h_{int,sm,1}(799) = h_{int,sm,1}(798) + road_{grade,1}(799) = 121,2550 - 0,0220 = 121,2330\text{ m}$$

Segunda ronda de suavizado:

$$road_{grade,2}(0) = \frac{h_{int,sm,1}(200) - h_{int,sm,1}(0)}{(200)} = \frac{119,9618 - 120,3033}{(200)} = -0,0017$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $d \leq 200$ m

$$road_{grade,2}(320) = \frac{h_{int,sm,1}(520) - h_{int,sm,1}(120)}{(520) - (120)} = \frac{123,6809 - 120,1843}{400} = 0,0087$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $200 \text{ m} < d < (599)$

$$road_{grade,2}(720) = \frac{h_{int,sm,1}(799) - h_{int,sm,1}(520)}{799 - (520)} = \frac{121,2330 - 123,6809}{279} = -0,0088$$

escogido para demostrar el suavizado correspondiente a $d \geq (599 \text{ m})$

5.3.3. Cálculo del resultado final

La ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto se calcula integrando todas las pendientes positivas de la carretera interpoladas y suavizadas, es decir, $road_{grade,2}(d)$. En el ejemplo presentado, la distancia total recorrida fue $d_{tot} = 139,7 \text{ km}$ y el total de las pendientes positivas de la carretera interpoladas y suavizadas fue de 516 m . Por tanto se alcanzó una ganancia de altitud positiva acumulativa de $516 \times 100/139,7 = 370 \text{ m}/100 \text{ km}$.

Cuadro 1

Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo

Tiempo t [s]	$v(t)$ [km/h]	$h_{GPS}(t)$ [m]	$h_{map}(t)$ [m]	$h(t)$ [m]	$h_{corr}(t)$ [m]	d_i [m]	$d \text{ acum.}$ [m]
0	0,00	122,7	129,0	122,7	122,7	0,0	0,0
1	0,00	122,8	129,0	122,8	122,7	0,0	0,0
2	0,00	-	129,1	123,6	122,7	0,0	0,0
3	0,00	-	129,2	124,3	122,7	0,0	0,0
4	0,00	125,1	129,0	125,1	122,7	0,0	0,0
...
18	0,00	120,2	129,4	120,2	120,2	0,0	0,0
19	0,32	120,2	129,4	120,2	120,2	0,1	0,1
...
37	24,31	120,9	132,7	120,9	120,9	6,8	117,9
38	28,18	121,2	133,0	121,2	121,2	7,8	125,7
...
46	13,52	121,4	131,9	121,4	121,4	3,8	193,4
47	38,48	120,7	131,5	120,7	120,7	10,7	204,1
...
56	42,67	119,8	125,2	119,8	119,8	11,9	308,4
57	41,70	119,7	124,8	119,7	119,7	11,6	320,0
...
110	10,95	125,2	132,2	125,2	125,2	3,0	509,0
111	11,75	100,8	132,3	100,8	125,2	3,3	512,2

Tiempo t [s]	$v(t)$ [km/h]	$h_{GPS}(t)$ [m]	$h_{map}(t)$ [m]	$h(t)$ [m]	$h_{corr}(t)$ [m]	d_i [m]	$d_{acum.}$ [m]
112	13,52	0,0	132,4	132,4	125,2	3,8	516,0
113	14,01	0,0	132,5	132,5	132,5	3,9	519,9
114	13,36	24,30	132,6	132,6	132,6	3,7	523,6
...	
149	39,93	123,6	129,6	123,6	123,6	11,1	719,2
150	39,61	123,4	129,5	123,4	123,4	11,0	730,2
...	
157	14,81	121,3	126,1	121,3	121,3	4,1	792,1
158	14,19	121,2	126,2	121,2	121,2	3,9	796,1
159	10,00	128,5	126,1	128,5	121,2	2,8	798,8
160	4,10	130,6	126,0	130,6	121,2	1,2	800,0

El guion significa que faltan datos.

Cuadro 2

Cálculo de la pendiente de la carretera

d [m]	t_0 [s]	d_0 [m]	d_1 [m]	h_0 [m]	h_1 [m]	$h_{int}(d)$ [m]	$road_{grade,1}^d(d)$ [m/m]	$h_{int,sm,1}(d)$ [m]	$road_{grade,2}^d(d)$ [m/m]
0	18	0,0	0,1	120,3	120,4	120,3	0,0035	120,3	- 0,0015
...
120	37	117,9	125,7	120,9	121,2	121,0	- 0,0019	120,2	0,0035
...
200	46	193,4	204,1	121,4	120,7	121,0	- 0,0040	120,0	0,0051
...
320	56	308,4	320,0	119,8	119,7	119,7	0,0288	121,4	0,0088
...
520	113	519,9	523,6	132,5	132,6	132,5	0,0097	123,7	0,0037
...
720	149	719,2	730,2	123,6	123,4	123,6	- 0,0405	122,9	- 0,0086
...
798	158	796,1	798,8	121,2	121,2	121,2	- 0,0219	121,3	- 0,0151
799	159	798,8	800,0	121,2	121,2	121,2	- 0,0220	121,3	- 0,0152

Figura 2

Efecto de la verificación y la corrección de datos: perfil de altitud medido con GPS $h_{GPS}(t)$, perfil de altitud ofrecido por el mapa topográfico $h_{map}(t)$, perfil de altitud obtenido tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos $h(t)$ y la corrección $h_{corr}(t)$ de los datos incluidos en el cuadro 1

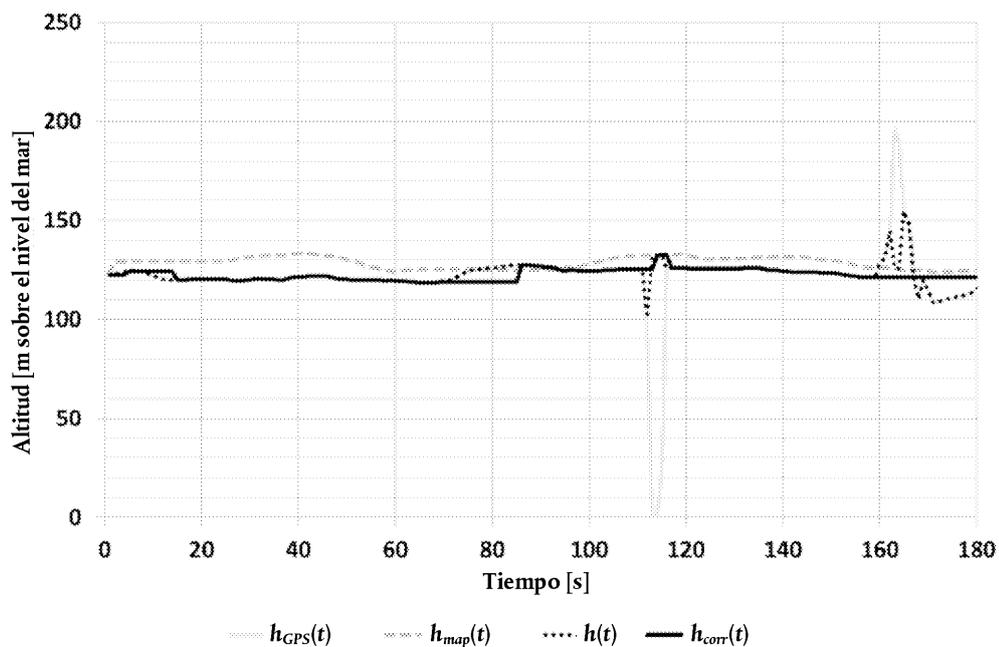
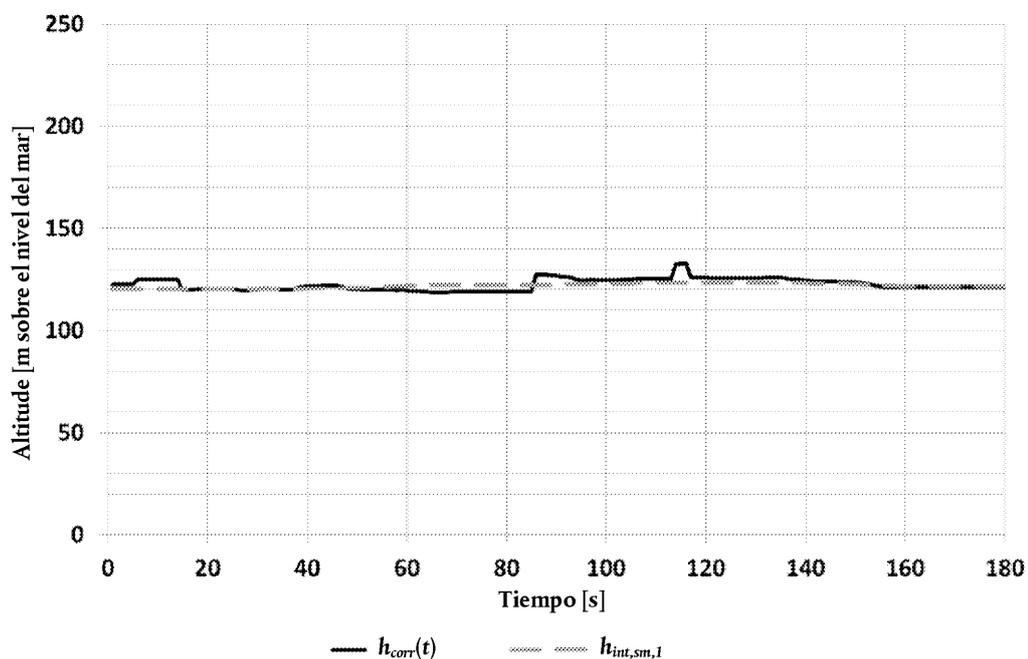


Figura 3

Comparación entre el perfil de altitud corregido $h_{corr}(t)$ y la altitud suavizada e interpolada $h_{int,sm,1}$



Cuadro 2

Cálculo de la ganancia de altitud positiva

d [m]	t_0 [s]	d_0 [m]	d_1 [m]	h_0 [m]	h_1 [m]	$h_{int}(d)$ [m]	$road_{grade,1}(d)$ [m/m]	$h_{int,sm,1}(d)$ [m]	$road_{grade,2}(d)$ [m/m]
0	18	0,0	0,1	120,3	120,4	120,3	0,0035	120,3	- 0,0015
...
120	37	117,9	125,7	120,9	121,2	121,0	- 0,0019	120,2	0,0035
...
200	46	193,4	204,1	121,4	120,7	121,0	- 0,0040	120,0	0,0051
...
320	56	308,4	320,0	119,8	119,7	119,7	0,0288	121,4	0,0088
...
520	113	519,9	523,6	132,5	132,6	132,5	0,0097	123,7	0,0037
...
720	149	719,2	730,2	123,6	123,4	123,6	- 0,0405	122,9	- 0,0086
...
798	158	796,1	798,8	121,2	121,2	121,2	- 0,0219	121,3	- 0,0151
799	159	798,8	800,0	121,2	121,2	121,2	- 0,0220	121,3	- 0,0152.».