



RECOMENDACIONES PARA LA REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DE FIRMES

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA,
ETXEBIZITZA
ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA
Y TRANSPORTES

RECOMENDACIONES PARA LA REHABILITACIÓN SUPERFICIAL DE FIRMES

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA,
ETXEBIZITZA
ETA GARRAIO SAILA

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA
Y TRANSPORTES

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia

Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

Vitoria-Gasteiz, 2022

Un registro bibliográfico de esta obra puede consultarse en el catálogo de la Biblioteca General del Gobierno Vasco:

<https://www.katalogoak.euskadi.eus/katalogobateratua>

Edición: 1.ª, diciembre 2022

Tirada: 261 ejemplares

© Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes.

Internet: www.euskadi.eus/publicaciones

Edita: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia.
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco
Donostia/San Sebastian 1, 01010 Vitoria-Gasteiz

Traducción: Bitez

Fotografía: www.pexels.com

Impresión: PRINTHAUS

ISBN: 978-84-457-3687-6

Depósito Legal: LG G 921-2022

Índice

1. INTRODUCCIÓN	7
2. OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	9
3. JERARQUIZACIÓN DE LA RED	11
4. CONSIDERACIONES GENERALES	13
5. REGULARIDAD LONGITUDINAL	15
5.1. INTRODUCCIÓN	15
5.2. VALORES LÍMITE	15
5.3. TRAMIFICACIÓN	16
5.4. ANÁLISIS DE TRAMOS	17
5.5. PRIORIDADES	17
5.6. ACTUACIONES PARA LA MEJORA DE LA REGULARIDAD LONGITUDINAL	18
6. ADHERENCIA NEUMÁTICO–PAVIMENTO	19
6.1. INTRODUCCIÓN	19
6.2. VALORES LÍMITE PARA EL INICIO DE LOS ANÁLISIS DE DETALLE	19
6.3. TRAMIFICACIÓN DE LA RED	21
6.4. ANÁLISIS DE TRAMOS	22
6.5. PRIORIDADES	27
6.6. ACTUACIONES SOBRE LA CAPA DE RODADURA PARA LA MEJORA DE LA ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO	28
ANEJO 1. REGULARIDAD LONGITUDINAL	31
A1.1. INTRODUCCIÓN	31
A1.2. MEDIDA DE LA REGULARIDAD LONGITUDINAL	32

ANEJO 2. ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO	37
A2.1. INTRODUCCIÓN	37
A2.2. MEDIDA DE LA MACROTEXTURA.....	39
A2.3. MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	41
ANEJO 3. EJEMPLO DE LA COMPROBACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL (TEXTURA Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO) EN CURVA.....	47
COMISIÓN DEL PLAN GENERAL DE CARRETERAS DEL PAÍS VASCO	49

1

INTRODUCCIÓN

La Red de Carreteras del País Vasco se encuentra en gran medida desarrollada, de manera que cada vez tienen mayor peso económico las actividades de mantenimiento y rehabilitación de lo existente. Teniendo en cuenta los 4.030 km que conforman esa Red, repartidos de una forma muy equitativa entre los tres Territorios Históricos, de los que 1.721 km constituyen la Red Funcional, se entenderá que esta Red viaria constituye un activo de enorme importancia.

El papel primordial de estas infraestructuras en el desarrollo económico y social del país al posibilitar la corrección de desequilibrios territoriales, incrementar la accesibilidad y dar soporte a la movilidad de personas y de mercancías, justifica la creciente exigencia, por parte tanto de la administración gestora de ese patrimonio como de los usuarios, de llevar a cabo una óptima conservación de la Red de Carreteras.

Toda actuación de mantenimiento y rehabilitación de los firmes de carreteras debe ser aplicada con efectividad de manera que se mantenga el estado de funcionalidad de la red y se pongan a disposición de la Sociedad carreteras seguras y cómodas, a un coste reducido y sostenible.

Las presentes Recomendaciones facilitan directrices para la gestión del mantenimiento y rehabilitación de la funcionalidad de los firmes de carretera, centrándose en la rehabilitación superficial de los mismos, de manera que esa gestión se realice de manera homogénea y estandarizada, lo que permitirá adquirir experiencia sobre la efectividad de las distintas actuaciones, estableciéndose una mecánica de trabajo de mejora continua. Este sistema deberá contribuir a una mejor gestión presupuestaria y a facilitar que se alcancen los niveles de servicio adecuados.

Por su naturaleza estas Recomendaciones requerirán actualizaciones periódicas y se anima a los que las utilicen a que trasmitan sus comentarios y sugerencias, que serán luego analizadas en el marco de la Mesa de Firmes para su posible implementación.

2

OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

El objeto de las presentes Recomendaciones son los estudios y proyectos de conservación y rehabilitación superficial de carreteras en servicio que se acometan en la red de carreteras de los Territorios Históricos del País Vasco según se establece en la Norma Foral 20/1990 de carreteras del Territorio Histórico de Álava, de la Norma Foral 2/2011 de carreteras de Bizkaia y de la Norma Foral 1/2006 de carreteras y caminos de Gipuzkoa, en lo relativo a las carreteras y sus elementos funcionales. Todo ello en cumplimiento del artículo 7 de la Ley 2/1989, Reguladora del Plan General de Carreteras del País Vasco.

Las Recomendaciones serán de aplicación en las redes de interés preferente, básica y complementaria. Se excluyen del ámbito de estas Recomendaciones las vías que constituyen la red interior municipal o local de comunicaciones, siempre que no se hallen expresamente calificadas como tramos urbanos de carreteras.

Cuando los estudios y proyectos de rehabilitación incluyan firmes de nueva construcción, reconstrucción de firmes, mejora de trazado, ensanches, ampliación de carriles o duplicación de calzadas, en los que se aproveche total o parcialmente el firme existente, se aplicarán conjuntamente los criterios de estas Recomendaciones y los de la Norma para el Dimensionamiento de Firmes de la Red de Carreteras del País Vasco.

Estas Recomendaciones sólo serán válidas para aquellos supuestos considerados explícitamente en la misma. Si se dieran otros, se deberán justificar las soluciones adoptadas manteniendo los principios y Recomendaciones que se dan tanto en el texto normativo como en los documentos anejos. En cualquier caso, dichas justificaciones deberán ser aprobadas por la administración competente en cada caso.

En los proyectos que se redacten de acuerdo con estas Recomendaciones se establecerán las medidas necesarias para el cumplimiento de la legislación que, en materia ambiental, de seguridad y salud y de residuos se encuentre vigente en ese momento.

3

JERARQUIZACIÓN DE LA RED

Las carreteras, cuya titularidad corresponde a los Territorios Históricos del País Vasco, se jerarquizan atendiendo a su funcionalidad en: Red de Interés Preferente, Red Básica, Red Complementaria, Red Comarcal y Red Local. Además, Álava incluye una jerarquía adicional: la Red Vecinal.

Red de interés preferente. Constituida por autopistas, autovías y carreteras multicarril, y aquellas carreteras convencionales que se determinen como:

- Itinerarios de tráfico de carácter internacional.
- Itinerarios de acceso a pasos fronterizos, puertos y aeropuertos de interés general.
- Itinerarios que soporten tráficos interautonómicos importantes de largo recorrido.
- Itinerarios por los que discurre un volumen considerable de transportes pesados o una carga apreciable de mercancías peligrosas, tanto exteriores como interiores.

Red básica. Formada por autovías o carreteras convencionales, que sin pertenecer a la Red de Interés Preferente, constituyen:

- Conexión de comarcas vecinas de dos Territorios Históricos o con otras Comunidades Autónomas siempre que tengan tráfico importante.
- Vías estructurantes del Territorio Histórico, formando itinerarios completos.

Red complementaria. Es aquella que conecta los itinerarios de alta capacidad de las redes Básica y de Interés Preferente con las arterias urbanas.

Red comarcal. Está constituida por aquellas carreteras que, sin un tráfico importante, comuniquen comarcas vecinas dentro del Territorio Histórico.

Red local. La integrada por las carreteras que no pertenezcan a ninguna de sus clasificaciones anteriores. Además en Álava se establecen matizaciones que la distinguen de la red vecinal.

Red vecinal. Esta jerarquización tan solo está empleada en el Territorio Histórico de Álava. Está constituida por las carreteras que no se hallen integradas en ninguna de las redes definidas en los apartados anteriores.

4

CONSIDERACIONES GENERALES

La capa superficial de los firmes de carretera se ve sometida a un desgaste por la acción directa del tráfico y los efectos climáticos. En firmes bien proyectados, el desgaste de la capa superficial es superior al que sufren las capas inferiores y requiere que se realicen rehabilitaciones superficiales periódicas para mantener las características funcionales del firme y prolongar su vida de servicio.

Las actuaciones de rehabilitación superficial más frecuentes se dirigen a:

- Corregir irregularidades superficiales, longitudinales o transversales, que sean incómodas o peligrosas para los usuarios.
- Mejorar la resistencia al deslizamiento o la textura de la capa de rodadura.
- Facilitar la evacuación del agua superficial.
- Proteger a la superficie de rodadura del envejecimiento, reparar superficies agrietadas o que comienzan a desintegrarse, sellar grietas, juntas o zonas permeables o en general cualquier actuación para prolongar la funcionalidad y durabilidad de la rodadura.
- Homogeneizar tramos con superficies de rodadura de distintas tipologías o con numerosas reparaciones, con el fin de conseguir una superficie de características uniformes.
- Rehabilitar otras características superficiales como, por ejemplo, reducir la sonoridad de una determinada superficie.

Las rehabilitaciones superficiales se realizan sobre firmes con suficiente capacidad estructural y en general afectan únicamente a la capa de rodadura, que se sustituye (por aporte, o por fresado y sustitución), o mejora (mediante actuaciones específicas para corregir los defectos superficiales). En algunos casos, y especialmente con defectos de regularidad longitudinal o transversal, puede ser conveniente actuar también sobre la capa intermedia.

Antes de realizar una rehabilitación superficial se debe comprobar si es también necesaria otra estructural, en cuyo caso deben plantearse conjuntamente. Si la

rehabilitación superficial requiere una actuación urgente, como sucede en algunas relacionadas con la seguridad viaria, puede ser necesaria una rehabilitación superficial provisional o de bajo coste antes de proceder a la estructural definitiva.

La necesidad de una rehabilitación superficial se puede derivar del análisis de campañas generales de auscultación o de la accidentalidad de la red, y también de las observaciones de los Técnicos de las Diputaciones Forales, de las empresas de conservación contratadas o de los propios usuarios.

En los siguientes apartados se dan criterios para la medida de los parámetros necesarios para caracterizar el estado de la superficie del firme y para el diseño de las actuaciones de rehabilitación superficial que sean precisas. Se incluyen las rehabilitaciones superficiales dirigidas a la mejora de la regularidad longitudinal y de la adherencia rueda-pavimento.

5

REGULARIDAD LONGITUDINAL

5.1. INTRODUCCIÓN

Se entiende como irregularidad longitudinal aquella variación en la cota del perfil longitudinal de la superficie de la carretera respecto a otros puntos próximos del mismo perfil que provoca aceleraciones verticales o de cabeceo en los vehículos en movimiento. La falta de regularidad longitudinal influye negativamente en la comodidad y seguridad de los usuarios y puede aumentar los costes de mantenimiento y reparación de los vehículos. También afecta a la Administración de la carretera, ya que la amplificación de los movimientos dinámicos aumenta los costes de conservación y reduce la vida útil del firme.

En el Anejo 1 se presentan los equipos y procedimientos considerados en estas Recomendaciones para la medida de la regularidad longitudinal.

5.2. VALORES LÍMITE

La regularidad longitudinal se analizará mediante el Índice de Regularidad Internacional tomado cada 20 m (IRI 20). Este parámetro está relacionado con irregularidades localizadas, que cuando alcanzan una magnitud elevada pueden llegar a afectar a la seguridad viaria. Los valores límite del IRI 20 se dan en la Tabla 1 en función de la velocidad señalizada en el tramo.

Tabla 1. Valores límite para la regularidad longitudinal en explotación

Velocidad señalizada del tramo (km/h)	IRI 20 ¹ Máximo (dm/hm)
$V < 50$	6,0
$50 \leq V < 70$	5,0
$70 \leq V < 100$	4,8
$V \geq 100$	4,5

¹ Esta limitación no será de aplicación en aquellas zonas con resaltes o pavimentos diseñados para reducir la velocidad del tráfico, como los pavimentos de aproximación a los peajes. Sí será de aplicación en juntas de estructuras.

Para la rehabilitación superficial también se tendrán en cuenta los valores límite de la Tabla 2, en relación con los valores del IRI 100 cada 100 m, determinados de acuerdo con el procedimiento recogido en el Anejo 1. El IRI 100 está relacionado con la comodidad de los usuarios. Estos valores límite del IRI 100 pueden ser modificados por las Diputaciones Forales en función de la situación de la red que se analice, las disponibilidades presupuestarias y su política de mantenimiento.

Tabla 2. Valores de referencia¹ para la regularidad longitudinal en explotación

Velocidad señalizada del tramo (km/h)	IRI 100 Porcentaje de hectómetros por kilómetro ¹		
	50	80	100
V < 50	< 3,0	< 3,3	< 4,0
50 ≤ V < 70	< 2,5	< 3,0	< 3,5
70 ≤ V < 100	< 2,2	< 2,5	< 3,2
V ≥ 100	< 1,8	< 2,1	< 2,5

¹ Los valores límite de IRI 100 se aumentarán en 0,2 dm/hm cuando la IMD del tramo sea inferior a 10.000 vehículos o cuando el porcentaje de pesados sea inferior a 1.500 vehículos.

En el cálculo del IRI 100 no se incluirán las estructuras, reductores de velocidad, u otros elementos cuya función consista en la generación de irregularidades en la calzada. No se tendrán en cuenta los valores de IRI 20 asociados a estos elementos, y por tanto no se obtendrán los valores en IRI 100 en los 100 m posteriores.

Los valores de IRI incluidos en las Tablas 1 y 2 se aplicarán a cada una de las rodadas de los carriles medidos, y, en su caso, a los ramales de entrada o salida a la vía si estos tienen más de 100 m. Para menores longitudes de ramal se considerará únicamente el IRI 20. A los ramales de entrada y salida se les asignarán los valores límite o de referencia que corresponda según la velocidad señalizada.

5.3. TRAMIFICACIÓN

Para realizar el análisis del estado de la regularidad longitudinal se debe proceder inicialmente a una subdivisión del tramo de estudio en función de las velocidades admitidas y la IMD total y de vehículos pesados. A cada subtramo se le deben asignar los valores límites correspondientes, seleccionándolos de las Tablas 1 y 2.

Cuando el análisis se hace sobre una Red o un conjunto de tramos de carretera la subdivisión se debe revisar periódicamente para tener en cuenta las po-

sibles modificaciones que se hayan realizado en el tiempo transcurrido desde la primera subdivisión. Un período adecuado para la revisión de los subtramos es de 2 años.

5.4. ANÁLISIS DE TRAMOS

Una vez medida la regularidad longitudinal se comprobará, de acuerdo con los criterios del apartado 5.2, la condición del tramo o tramos auscultados. Sobre aquellas zonas con valores superiores al umbral correspondiente de IRI 20 se realizará un estudio de detalle.

En el análisis de detalle se detectará primero, mediante el análisis del perfil, el tipo de irregularidad que origina el incumplimiento: resalto, hundimientos o combinación de ambas. Se visitarán las zonas irregulares y mediante un recorrido del tramo en vehículo y una inspección visual se determinará la localización precisa y se les asignará un determinado nivel de prioridad. Si en el recorrido o inspección no se evidencia el resalto o hundimiento se podrá verificar el defecto mediante equipos de medida manuales o automatizados o señalarlo para seguimiento en campañas posteriores.

Como resultado del proceso se debe definir:

- el posible origen del deterioro, en su caso,
- la actuación recomendada,
- y la prioridad de la actuación.

Se realizarán del mismo modo análisis de detalle cuando se decida actuar para la mejora de tramos teniendo en cuenta los valores de referencia del IRI 100.

5.5. PRIORIDADES

Para aquellos tramos sobre los que se deba actuar se establecerán tres niveles de actuación:

- Actuación urgente (Nivel 1).
- Actuación ordinaria (Nivel 2).
- Tramo de seguimiento (Nivel 3).

A cualquier tramo con un IRI 20 superior al de los valores límite de la Tabla 1, y que por tanto pueda influir en la seguridad viaria, se le debe asignar una prioridad urgente de actuación.

Los tramos en los cuales los valores del IRI 100 se encuentran por encima de los umbrales o en los que los valores de IRI 20 estén próximos a sus valores límite se incluirán, en su caso, en la programación para las campañas periódicas de mejora superficial o se definirán como tramos de seguimiento.

5.6. ACTUACIONES PARA LA MEJORA DE LA REGULARIDAD LONGITUDINAL

Las actuaciones de mejora de la regularidad longitudinal deben tener en cuenta el origen del deterioro. Si la irregularidad se debe a defectos superficiales localizados como agrietamientos, baches, juntas en mal estado, etc., se deberá programar la actuación correctora correspondiente (bacheos, reparaciones de corta longitud o generalizadas, sustitución de juntas de dilatación).

Para otro tipo de irregularidades del perfil se puede recurrir a:

- Microfresados de los puntos altos.
- Aporte de capas que regularicen el perfil longitudinal.
- Fresado y sustitución de la capa de rodadura.
- Combinación de las anteriores. Generalmente son las actuaciones más adecuadas para evitar fresados excesivos o regularizaciones en capa gruesa.
- Los puntos bajos producidos por asentamiento se corregirán, en su caso, mediante reparaciones profundas, o aportando las capas de regularización correspondientes.

Si la corrección del perfil se realiza simultáneamente a una reparación estructural en la que se sustituyen o aportan capas, se deberá analizar la conveniencia de realizar tratamientos de fresado o regularización previamente a la colocación de capas nuevas.

6

ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO

6.1. INTRODUCCIÓN

La adherencia de la rueda con el pavimento se consigue, en lo que se refiere al pavimento, por la combinación de la macrotextura y la microtextura de la superficie. Ambas características pueden influir en la seguridad viaria y se deben mantener en unos valores adecuados.

En el Anejo 2 se exponen los equipos y procedimientos considerados en estas Recomendaciones para la medida de la adherencia neumático-pavimento.

6.2. VALORES LÍMITE PARA EL INICIO DE LOS ANÁLISIS DE DETALLE

La adherencia neumático-pavimento se analizará mediante los resultados de CRT y macrotextura. La medida del CRT puede hacerse directamente con el equipo SCRIM (UNE 41201 IN) o indirectamente, si lo autoriza la Diputación Foral correspondiente, mediante el equipo GRIPTESTER (UNE-CEN/TS 15901-7 IN). El ensayo de referencia de la macrotextura es el volumétrico (UNE-EN 13036-1), aunque para ensayos en la red se recomienda la determinación de la ETD con equipos láser, aplicando a los resultados la ISO 13473-1 (ver Anejo 2). Para ambos parámetros la Tabla 3 define los valores mínimos a considerar durante la explotación.

Los tramos con valores inferiores a los límites deberán ser objeto de un estudio de detalle que permita tomar decisiones sobre las actuaciones necesarias, según se describe en el apartado 6.4.

Tabla 3. Valores límite de la resistencia al deslizamiento (CRTS) y macrotextura para estudios de detalle

Velocidad señalizada del tramo (km/h)	Radio umbral (m)	Rmin tramo \leq Radio umbral ¹		Rmin tramo $>$ Radio umbral	
		CRT mínimo ² (%)	Macrotextura mínima ² (mm)	CRT mínimo ² (%)	Macrotextura mínima ² (mm)
120	1000	50	0,9	40	0,7
110	850				
100	700				
90	550	45	0,9	40	0,6
80	450				
70	350				
60	265	40	0,8	35	0,6
50	190				
40	130				

¹ Para elementos singulares o de riesgo, como incorporaciones o desvíos, travesías, trenzados, intersecciones, zonas de transición de velocidades con gradiente superior a 30 km/h ($V_1 - V_2 \geq 30$ km/h), pasos de peatones u otros, se tomarán los valores asociados Rmin tramo \leq Radio umbral, sea cual sea el valor del radio existente en el tramo. Se considerará como tramo singular el elemento en sí y sus aproximaciones en una longitud nunca inferior a 50 m. Para el caso de zonas de transición de velocidad señalizada se considerarán los límites asociados a V_1 en la zona de transición en una longitud total de:

- 200 m si $V_1 \geq 90$ km/h,
- 150 m si $90 > V_1 \geq 70$,
- 100 m si $V_1 < 70$ km/h

Tomando la longitud a partir de la señalización de velocidad V_2 .

² Los límites señalados en la Tabla se aumentarán (de forma no acumulable) en:

- 5 unidades (CRT)
- 0,2 mm (Macrotextura)

cuando se de alguna de las siguientes situaciones:

- $IMD \geq 10.000$ o $IMD_p \geq 1500$
- La pendiente del tramo es superior al 5% durante 100 m

Para el análisis del cumplimiento de los valores límite se tomarán los valores de resistencia al deslizamiento (CRT) y macrotextura promediados cada 100 metros (media de 5 valores puntuales registrados cada 20 m). Los subtramos residuales con una longitud inferior a 100 m se agregarán al tramo anterior para hacer la media.

En las zonas consideradas especialmente críticas para la resistencia al deslizamiento (como por ejemplo curvas de radio inferior al umbral) se tomarán como valores de análisis los resultados obtenidos cada 20 m.

En el caso de medidas estáticas de textura o resistencia al deslizamiento, se darán resultados cada 50 m, definiéndolos según los criterios del Anejo 2.

Para el análisis, a cada una de las alineaciones circulares se le asignará el menor radio puntual existente a lo largo de su desarrollo. En el caso de las curvas de transición, se les asignará el menor valor del radio con el que se haya caracterizado la curva circular adyacente.

En la evaluación de las medidas en túneles, los valores límite de la resistencia al deslizamiento se reducirán cinco puntos teniendo en cuenta que la medida se realiza con la superficie húmeda, cuando en el túnel no se va a presentar esa situación. No se aplicará esta reducción si en el túnel se dan filtraciones de agua que alcancen al pavimento.

Los valores de las Tablas son indicativos y pueden ser modificados en función del riesgo de que se produzcan accidentes, apreciado por los responsables de la explotación de la vía y de acuerdo con el conjunto de características del tramo o con la historia de accidentalidad.

Los valores de CRT y macrotextura se medirán en todos los carriles. También se puede medir en los ramales de entrada o salida a la vía, pero teniendo en cuenta la zona de validez por motivos de velocidad de operación del equipo empleado. Si se midiesen en ramales, a estos se les asignará, a efectos de valores límite, la velocidad de tramo de la calzada principal si no tienen señalización de velocidad propia.

6.3. TRAMIFICACIÓN DE LA RED

Para realizar el análisis del estado de la adherencia neumático-pavimento se deberá subdividir el tramo de estudio en función de sus características de manera que se identifiquen aquellas zonas en las que se producen cambios en la configuración de la carretera, velocidad señalizada o características del tráfico que puedan llevar a valores límite distintos según la Tabla 3.

Cuando el análisis se haga sobre una Red o un conjunto de tramos de carretera la subdivisión se debe revisar periódicamente para tener en cuenta las posibles modificaciones que se hayan realizado en el tiempo transcurrido desde la primera evaluación. Un período adecuado para la revisión es de 2 años, pero se puede aumentar o disminuir según los criterios de las Diputaciones Forales.

6.4. ANÁLISIS DE TRAMOS

El análisis de la adherencia rueda-pavimento se puede realizar en toda la Red tras una campaña general de medida de la resistencia al deslizamiento y macrotextura o sobre unos ciertos tramos en los que se haya realizado una auscultación de estas características. Las auscultaciones sobre tramos específicos se pueden realizar, entre otras causas, porque se haya detectado un aumento de la accidentalidad, porque sea un tramo sobre el que se esté realizando un seguimiento, o porque se aprecie una pérdida de sus características funcionales.

En cualquiera de estos casos se comprobará, de acuerdo con los criterios del apartado 6.2, la condición de la resistencia al deslizamiento y la macrotextura de cada tramo auscultado, seleccionando para un análisis de detalle todos aquellos subtramos que tengan valores inferiores a los valores límite que les corresponda para alguno de estos dos parámetros.

Para cada tramo que no alcance los valores límite se comprobarán los adyacentes y en caso de que sus parámetros estén próximos al límite se incluirán también en el estudio. Se podrán incluir en el análisis de detalle otros tramos que cumplan con los valores límite pero que tengan una accidentalidad elevada.

Se describen a continuación dos procedimientos para el análisis de detalle, el primero basado en el estudio de la accidentalidad, válido para cualquier tramo y tipo de vía, y el segundo que compara el rozamiento demandado por el vehículo con el ofrecido por la carretera y es de aplicación en tramos en curva. Este último análisis se considerará únicamente en la red de alta capacidad (carreteras desdobladas, autovías y autopistas) y para velocidades superiores a 80 km/h.

Análisis de detalle cuando se utilizan datos de accidentalidad

Para el análisis de detalle se debe contar con:

- Los datos de accidentes de los últimos 5 años si la rodadura actual del tramo tiene 5 o más años, o de aquellos accidentes que se hayan producido desde la colocación de la última rodadura.
- Un histórico de los resultados de las auscultaciones de la resistencia al deslizamiento y macrotextura.
- Una definición de los materiales que forman las capas de rodadura de la red, con fechas de puesta en servicio.
- Una definición de las características geométricas de cada tramo y en particular el radio en planta del trazado, peralte, pendiente y ancho de plataforma.
- Velocidades señalizadas y específicas.

La primera fase del análisis es la determinación del número total de accidentes y de accidentes con víctimas. Se señalará además si existe coincidencia con puntos o tramos de concentración de accidentes.

Para la definición del número de accidentes se deben considerar aquellos debidos al estado de la vía y producidos en momentos de lluvia. Si no se cuenta con este detalle se considerarán todos los accidentes. Dada la indeterminación de las localizaciones de accidentes se deben asignar al tramo todos aquellos que estén localizados en un entorno de 150 m respecto a los extremos del tramo analizado. En cada tramo, el análisis de la accidentalidad debe contemplar al menos los siniestros registrados en una longitud mínima de 500 m.

Se analizará el número de accidentes totales y con víctimas en los últimos 5 años, o menos si la rodadura tiene menos años de servicio, para determinar si ha habido un incremento claro en la accidentalidad. En su defecto, se solicitará al servicio de seguridad viaria un análisis específico según los criterios sobre Índices de Peligrosidad de la Diputación Foral correspondiente.

Si se determina que ha habido un aumento de la accidentalidad o los servicios de seguridad viaria señalan que la accidentalidad es superior a los límites que tengan establecidos se categorizará el tramo como de accidentalidad elevada.

En una segunda fase del análisis se debe visitar el tramo y observar los factores que puedan estar concurriendo en la generación de accidentes:

- Pendiente longitudinal, curvatura o pendiente transversal del subtramo, zonas con gradientes de velocidad superiores a 30 km/h en longitudes cortas, así como las entradas o salidas, intersecciones u otros elementos que afecten a la seguridad viaria, teniendo en cuenta la velocidad máxima señalizada.
- Estado de la señalización vertical y de las marcas viales.
- Posible acumulación de agua en el tramo y el estado de los elementos asociados al drenaje.
- Fecha de puesta en servicio de la rodadura, así como la presencia de deterioros superficiales, como roderas, baches, blandones o cualquier otro defecto que pueda afectar a la seguridad viaria (por ejemplo acumulación de arrastres).
- En general cualquier elemento disposición o situación que pueda influir en la seguridad viaria del tramo.

Es conveniente comprobar mediante ensayos estáticos (péndulo TRL y textura mediante método volumétrico) y los resultados de auscultaciones anteriores que no ha habido errores en la asignación de parámetros a las zonas seleccionadas para el análisis.

Como resultado del análisis de detalle se facilitará un informe de cada tramo acompañado de una recomendación sobre la necesidad o no de actuación de regeneración superficial, y, en su caso, sobre cuál es el tratamiento de mejora de la adherencia y macrotextura que se considera más adecuado. En los tramos en los que se recomiende actuar se asignará justificadamente un determinado nivel de prioridad, de acuerdo con el apartado 6.5.

Análisis de detalle para tramos en curva en la red de alta capacidad

Este análisis se basa en la determinación del rozamiento demandado por un vehículo en curva y su comparación con el ofertado por la capa de rodadura.

El rozamiento demandado es función de la velocidad del vehículo (máxima señalizada) y del radio y peralte de la curva. Se utilizan los principios de la cinemática para calcular el rozamiento mínimo necesario en la curva para que el vehículo se encuentre en equilibrio de fuerzas, contrarrestando la fuerza centrífuga con la debida al rozamiento.

El rozamiento ofertado es el medido en el tramo, pero convertido a la velocidad de circulación mediante el cálculo correspondiente. El rozamiento ofrecido por la superficie, que se obtiene a través de la medida de campo del CRT, de las características del equipo de medida y de la macrotextura.

La comparación se hace para la condición de velocidad más crítica, que es la mayor que se puede dar en la curva analizada teniendo en cuenta la señalización existente. Como el rozamiento, demandado u ofrecido, depende de la velocidad, se debe convertir la resistencia al deslizamiento medida por el equipo de auscultación a la correspondiente a la velocidad de cálculo. La conversión se realiza mediante la fórmula del IFI (Índice de Fricción Internacional).

El coeficiente de rozamiento transversal máximo demandado se obtiene en la Norma 3.1 IC mediante la fórmula:

$$v = \sqrt{127 \cdot R \cdot \left(f_t + \frac{p}{100} \right)}$$

Donde:

v = Velocidad del Vehículo, en km/h

R = Radio de la trayectoria, en m

p = Peralte, en %

f_t = Coeficiente de rozamiento transversal demandado, en décimas de unidad.

Esa fórmula permite correlacionar el coeficiente de rozamiento demandado con las velocidades, peraltes y radios para el tramo considerado. En cada punto se tomará el radio de la curva y su correspondiente peralte.

La velocidad de cálculo será la señalizada incrementada en 20 km/h para velocidades señalizadas de 60 km/h o superiores, y la señalizada incrementada en 10 km/h para inferiores a 60 km/h.

Para la evaluación de un tramo determinado se tomará la resistencia al deslizamiento y la textura medidas en el tramo y se transformarán mediante el IFI a la correspondiente a la velocidad de cálculo.

El modelo del IFI (International Friction Index) definido por la organización AIPCR/PIARC (Asociación Internacional Para Congresos de Carreteras) está normalizado en la norma ASTM E1960-2011, y se resume en las siguientes expresiones:

$$FR(60) = FR(S) \times e^{[(S-60)/S_p]}$$

$$F(60) = A + B \times FR(60) + C \times T_x$$

Dónde:

FR(S) Valor de rozamiento medido a una velocidad de deslizamiento de S km/h.

FR(60) es el valor de rozamiento a una velocidad de deslizamiento de 60 km/h.

F(60) es el valor de rozamiento a 60 km/h calibrado por equipo.

A, B y C son constantes del equipo (para un equipo Scrim se tomarán: A = 0,021; B = 0,928 y C = 0).

S velocidad de deslizamiento de la rueda de ensayo, en km/h. Para el Scrim S = 17,1 km/h.

$S_p = a + b \times T_x$, siendo

S_p = Factor de velocidad.

T_x macrotextura (MPD ó MTD), en mm.

a y b constantes: De acuerdo con la Norma ASTM E1960: para MPD (textura obtenida mediante perfilómetro láser) a = 14,2 y b = 89,7; para MTD (textura obtenida mediante método volumétrico) a = -11,6 y b = 113,6

De acuerdo con la Norma ASTM E1960, el procedimiento para el cálculo del IFI sigue las siguientes etapas:

1. Se calcula la constante de velocidad en función de la textura, mediante la expresión: $S_p = a + b \times T_x$
2. Se normaliza a 60 km/h el rozamiento medido utilizando el S_p anterior: $FR(60) = FR(S) \times e^{[(S-60)/S_p]}$
3. Se ajusta el valor anterior de $FR(60)$ a las características del equipo mediante la expresión: $F(60) = A + B \times FR(60) + C \times T_x$
4. Se calcula el rozamiento a la velocidad que se desee, si fuese distinta a 60 km/h, utilizando de nuevo la ecuación: $F(V) = F(60) \times e^{[(60-v)/S_p]}$

Se obtiene así el $F(V)$ que es el valor de rozamiento calibrado a la velocidad V de cálculo, que se debe comparar con el coeficiente de rozamiento $f_{t \text{ demandado}}$ a la velocidad determinada, para analizar el equilibrio de fuerzas. Los valores de rozamiento se dan en décimas, igual que se presenta en la 3.1 IC.

Este análisis debe hacerse en cada punto de medida, comparando ambas fuerzas de rozamiento. En la Figura 1 se presenta un ejemplo de análisis.

Figura 1. Ejemplo de análisis del rozamiento ofertado con el demandado



La definición del método presenta algunas limitaciones que hay que tener en cuenta en su aplicación.

- Sólo es válido para tramos en curva (en los acuerdos puede aplicarse el radio mínimo de la curva).
- Como no se dispone de los coeficientes A, B y C para todos los equipos que se puedan utilizar en la medida se han tomado unos valores genéricos de referencia. Por ello los resultados tienen únicamente un carácter aproximado.

- Se ha supuesto que el vehículo desliza a la misma velocidad con la que entra en la curva (deslizamiento del 100%), lo que no siempre es así, pero en cualquier caso deja el cálculo del lado de la seguridad.

En la actualidad hay un proyecto de Norma CEN (CEN/TS 13036-2) que define un índice europeo, SRI, distinto del IFI, para el que no se dispone aún de los parámetros de armonización, y por tanto no se ha podido incluir en estas Recomendaciones.

6.5. PRIORIDADES

Para aquellos tramos sobre los que se deba actuar se establecerán tres niveles de actuación:

- Actuación urgente (Nivel 1).
- Actuación ordinaria (Nivel 2).
- Tramo de seguimiento (Nivel 3).

Serán calificados como tramos de Actuación Urgente de rehabilitación superficial aquellos con una accidentalidad elevada en los que la resistencia al deslizamiento o la macrotextura sean inferiores a los umbrales señalados en la Tabla 3. Alternativamente, en tramos en curva se podrá realizar la asignación a aquellos tramos en los que el rozamiento demandado sea superior al ofrecido.

Las actuaciones ordinarias (incluidas en campañas periódicas de mejora) se programarán en los subtramos que incumplan los parámetros de adherencia pero que no tengan incrementos de accidentalidad (IP elevado o número de accidentes) pero en los que se den otros factores de riesgo, como, por ejemplo:

- Que los parámetros de resistencia al deslizamiento y macrotextura alcanzados sean sustancialmente inferiores a los señalados en la Tabla 3 (inferior en más de 10 unidades en resistencia al deslizamiento y en más de 0,2 mm en macrotextura) y especialmente si se dan simultáneamente ambas circunstancias.
- Que el tramo se encuentre en aproximaciones a glorietas, semáforos, cruces de ferrocarril, accesos o salidas a la calzada, zonas de trenzado, tramos con señales de stop o ceda el paso o pasos de peatones o en general donde haya

gradientes de velocidad iguales o superiores a 30 km/h en distancias cortas (entre 70 y 200 m, en función de la velocidad inicial).

- Que se trate de una curva con radio inferior a 250 m.
- Que sea un tramo en bajada con pendiente superior al 10%.
- Que sea un tramo en el que se produzca acumulación de agua.

Los tramos que no sean de accidentalidad elevada y tengan valores de CRT o macrotextura que no cumplan los criterios de la Tabla 3, en los que no existan factores de riesgo adicionales se señalarán como tramos de seguimiento y se incrementará la frecuencia de medida de la resistencia al deslizamiento y macrotextura en los mismos a dos auscultaciones anuales.

En aquellos tramos en los que siendo de accidentalidad elevada no se haya detectado un incumplimiento de los valores límite de los parámetros de adherencia y no se vaya a actuar de inmediato con alguna otra medida para la mejora de la seguridad viaria se podrá proponer una actuación urgente, mediante un tratamiento que mejore sustancialmente la resistencia al deslizamiento.

6.6. ACTUACIONES SOBRE LA CAPA DE RODADURA PARA LA MEJORA DE LA ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO

Las actuaciones de mejora de la adherencia neumático – pavimento deben tener en cuenta distintas consideraciones, y especialmente:

- El carácter de la actuación (urgente u ordinaria).
- El estado y tipo de la superficie de apoyo.
- La resistencia al deslizamiento o la textura que se quiera alcanzar.
- La época del año en que se vaya a aplicar.
- La durabilidad pretendida.
- El coste de la actuación.

La Tabla 4 da algunas indicaciones para la selección del tratamiento más adecuado.

Tabla 4. Actuaciones para la mejora de la adherencia neumático-pavimento

Actuación	CRT (%) después de la actuación	Macrotextura después de la actuación (mm)	Coste aproximado ¹ (€/m ²)
ACTUACIONES DE CORTA DURACIÓN			
Granallado	>70	1-2	1,3
Hidrodesbaste	>70	1-2	1,5
Microfresado	>70	1-2	1,1
ACTUACIONES DE LARGA DURACIÓN			
Lechadas o Microaglomerados en frío	>70	0,7 a 1,2	2
Microaglomerados o mezclas en caliente	>65	AC: 0,7 a 1,1 BBTM A: 1,1 a 1,4 BBTM B: 1,5 a 1,8 PA: > 1,8	5
Tratamientos superficiales con bauxita calcinada	>80	> 2	50
Mezcla bituminosa con un porcentaje superior al 20% de bauxita	>70	0,7 a 1,1	6
ACTUACIONES PARA ELIMINAR EL AGUA			
Ranurado Transversal	—	—	—

¹ Las cifras que se dan son de orden aproximado debido al número de factores que intervienen en la definición del precio, y entre otros la superficie a tratar, los desvíos de tráfico y, en su caso, la gestión de los residuos. Pueden ser de utilidad para comparación entre distintas soluciones.

Sobre las actuaciones de corta duración se debe considerar lo siguiente:

- En cada tramo se debe hacer una prueba previa para definir las características de la actuación de manera que se alcancen los objetivos pero no se dañe excesivamente el material de rodadura. Los parámetros son, fundamentalmente, la velocidad de avance y la presión de lanzamiento en el caso del granallado, la presión de agua en el hidrodesbaste y la profundidad de microfresado.
- En las pruebas previas debe observarse específicamente si se producen daños en zonas críticas, como juntas o posibles grietas.

- Generalmente estas técnicas no son de aplicación en superficies muy antiguas con materiales frágiles y escasa cohesión (mezclas drenantes o de tipo BBTM B), ya que pueden producir su ruina acelerada.
- La eficacia de las distintas técnicas dependen del material existente y de la configuración del equipo. En el caso del microfresado la calidad del resultado está muy determinada por el tipo y estado del tambor de fresado y por la antigüedad y tipo de la rodadura.
- En algunos casos el microfresado puede causar un encauzamiento no deseado en las motocicletas. Por esta razón, en curvas de radios muy reducido (igual o inferior a 250 m) puede ser adecuado acudir a técnicas de granallado o hidrodesebaste o a colocar un tratamiento con bauxita.
- En las zonas en las que la falta de adherencia se produce por acumulación de detritus en la superficie puede ser más efectivo el hidrodesebaste.

En las actuaciones urgentes, es decir en tramos de accidentalidad elevada en los que se precisa una actuación rápida, hay que tener en cuenta que tanto los microaglomerados en frío como las mezclas en caliente tienen unas épocas del año en las que no es conveniente su ejecución, por lo que puede interesar acudir a las técnicas de retexturado.

Las actuaciones de renovación de la textura deberán extenderse siempre a la totalidad de la plataforma, excepto si se trata de capas de espesor menor de 1 cm o retexturados, en cuyo caso podrá limitarse a la anchura completa de uno o de varios carriles.

Hay otras actuaciones adicionales que pueden contribuir a la seguridad del pavimento. Así, la superficie del firme debe contar con una pendiente transversal adecuada, libre de obstáculos laterales, para una rápida eliminación del agua. La regularidad superficial, longitudinal y transversal, del pavimento debe ser suficientemente buena para que no se acumule agua en las rodadas de los vehículos o no haya irregularidades que ayuden a que se produzcan despegues de las ruedas.

ANEJO 1

REGULARIDAD LONGITUDINAL

A1.1. INTRODUCCIÓN

El perfil longitudinal de una carretera es un corte bidimensional de la misma que sigue una línea imaginaria en el sentido del movimiento de los vehículos.

La irregularidad longitudinal se puede producir en las fases de construcción o de explotación de la carretera. Las irregularidades durante la construcción se deben fundamentalmente a:

- Paradas de la extendedora que hacen que la mezcla bituminosa que se encuentra junto a la regla de extendido pierda temperatura y no se pueda compactar adecuadamente, creando una protuberancia.
- Dificultades para corregir con las capas intermedia y de rodadura las irregularidades de las capas inferiores, que al compactarse en tongadas gruesas no tienen generalmente una buena terminación.
- Extendido con bajas temperaturas o con lluvia que dificultan la compactación al reducir la temperatura.
- Terminación inadecuada de juntas transversales de trabajo.
- En los viaductos, debido a que las juntas de dilatación no están bien enrasadas o a defectos en la terminación de los tableros que no pueden corregirse con el pavimento bituminoso.

Durante la vida de servicio se pueden producir también defectos de regularidad superficial, que pueden tener su origen en:

- Aparición de baches, grietas o deformaciones superficiales.
- Bacheos o reparaciones mal terminadas.
- Grietas térmicas o de retracción reflejadas en firmes semirrígidos.

- Sellados de grietas defectuosos
- Asientos en rellenos o en zonas de transición de desmonte a relleno
- Deformaciones por entrada de agua en desmontes
- Deformaciones en los accesos y salidas en las obras de paso.

Los defectos de regularidad longitudinal se manifiestan en ondas de determinada longitud y amplitud:

- Ondas cortas, de longitud de onda entre 0,5 m y 3 m y amplitud de milímetros. Dan la sensación de «tela ondulada», y producen vibraciones continuas en el vehículo. Se deben a grietas de retracción, baches u otros defectos del firme.
- Ondas medias, de longitud comprendida entre 3 m y 10 m y amplitudes de milímetros a centímetros, debidas fundamentalmente a asientos en los accesos de entrada y salida a estructuras que pueden llegar a provocar la flotación de la suspensión de los vehículos.
- Ondas largas, de longitud de onda entre 10 m y 50 m y amplitudes de centímetros, que pueden darse por defectos de construcción, como colocación inadecuada de piquetes, paradas de extendido o asientos en rellenos.

A1.2. MEDIDA DE LA REGULARIDAD LONGITUDINAL

La auscultación de la regularidad longitudinal requiere la obtención del perfil longitudinal a lo largo de la línea de medida. El perfil se recoge mediante sensores sin contacto instalados en un vehículo de ensayo. Los sensores miden la distancia entre estos y la superficie de la carretera. El equipo cuenta con acelerómetros y giróscopos que proporcionan una referencia inercial de la posición del sensor descontando los movimientos propios del vehículo, permitiendo obtener las cotas.

Generalmente se utilizan láseres puntuales, pero también se puede medir el perfil con equipos de ultrasonidos o con láseres 3-D. Durante la ejecución de las obras o para medidas de corta longitud se pueden utilizar equipos manuales o rodantes. Los más utilizados son de tipo «dipstick», formados por dos puntos de apoyo a modo de compás y un inclinómetro que refleja la diferencia de cota entre uno y otro apoyo.

El perfil longitudinal se trata con un modelo matemático para obtener el IRI (Índice de Regularidad Internacional) según la Norma NLT-330 «Cálculo del Índice Internacional IRI en pavimentos de carreteras». El IRI es la respuesta calculada de un

vehículo tipo, circulando a 80 km/h, ante el perfil de la carretera. El modelo representa un cuarto de coche (una rueda y su sistema de suspensión). La aplicación del modelo permite obtener resultados comparables entre distintos equipos.

Los equipos para la medida de la regularidad longitudinal se deben manejar de acuerdo con las instrucciones del fabricante y deben contar con los preceptivos registros de los procedimientos de aseguramiento de la calidad, las calibraciones correspondientes y, en su caso, con resultados de ensayos de intercomparación.

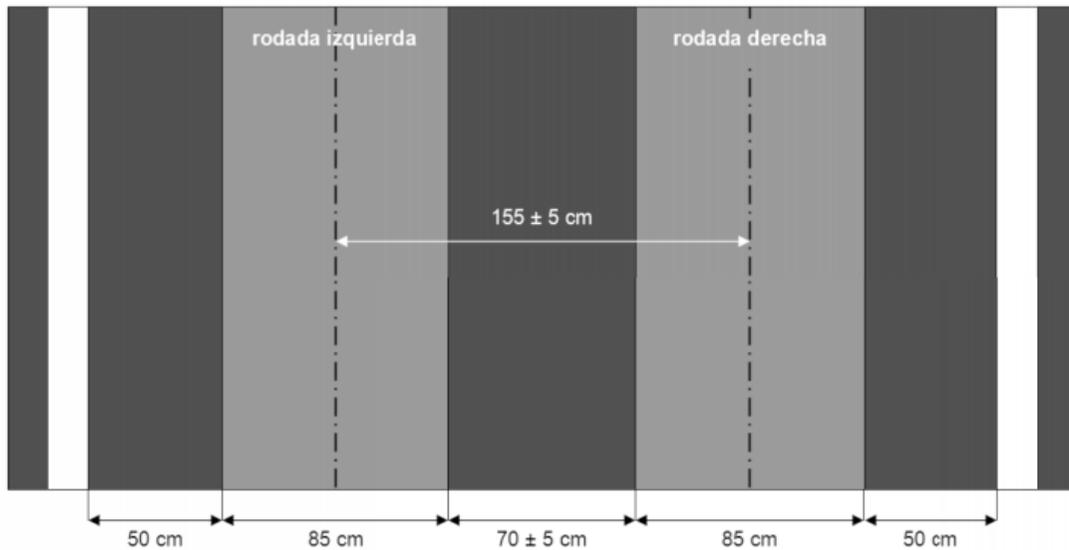
La medida del perfil se realizará a una velocidad de 80 km/h y en cualquier caso comprendida entre 70 y 100 km/h. La velocidad se debe mantener constante sin cambios bruscos.

El intervalo de muestreo de datos no deberá ser superior a 300 mm para la obtención del IRI y si se requieren cálculos sobre el perfil longitudinal no superará los 150 mm.

Cuando se utilicen equipos láser la medida se realizará con buen tiempo y no podrá llevarse a cabo cuando haya humedad, agua o hielo en la superficie de la carretera. Para las temperaturas ambiente superiores a 35 °C la empresa auscultadora deberá declarar si el láser tiene una limitación para esas condiciones.

La medida del perfil se realizará en ambos carriles en las carreteras de calzada única y al menos en el carril derecho, de vehículos pesados, de cada calzada, y preferiblemente en todos los carriles. El perfil se medirá para cada una de las dos rodadas de los vehículos en el carril auscultado, considerando para las rodadas la siguiente localización tomada de la Norma UNE EN 41201.

Figura 2. Definición de las zonas de rodada de los vehículos



En los requisitos de IRI o en la entrega de resultados se debe señalar la forma en que se presenta la medida. Esto se hace generalmente mediante dos valores; el primero se refiere a la longitud sobre la que se hace la media de los valores puntuales, y el segundo da la distancia a la que se presenta el anterior valor. Así un IRI 100 cada 20 significa que se hacen medias cada 100 m y se presentan cada 20 m. Algunos requisitos de IRI únicamente definen un valor, como es el caso del IRI 20 (simplificación del IRI 20 cada 20) o a veces el IRI 100 (simplificación del IRI 100 cada 100). Los valores especificados en estas Recomendaciones son el IRI 20 y el IRI 100, tomados y presentados como se indica en los siguientes párrafos. Los resultados de la medida de IRI se darán con un decimal.

Para cada línea de medida se calculará el IRI 20 obteniéndose un valor cada 20 m recorridos. Los resultados presentarán todos los valores puntuales cada 20 m. El IRI 20 es un parámetro que permite localizar con cierta precisión la posición de las irregularidades. El cálculo del IRI 20 se realizará de forma continua a lo largo de toda la traza de la carretera, sin excluir zonas singulares.

A partir del IRI 20 se obtendrá para cada kilómetro referenciado en el tramo los valores de IRI 100 cada 100 m. Si un kilómetro determinado tiene una longitud distinta a los 1000 m y, por tanto, hay longitudes sobrantes o en defecto entre puntos kilométricos, se procederá de acuerdo con los criterios fijados en la Norma NLT-330.

En el cálculo del IRI 100 no se incluirán las juntas de dilatación de las estructuras, aunque sí se darán los valores de IRI 20 obtenidos.

En la medida del IRI no se considerarán los reductores de velocidad u otros elementos cuya función consista en la generación de irregularidades en la calzada para una adecuada explotación de la carretera. Al eliminarse los valores de IRI 20 asociados a estos elementos, no se obtendrán valores de IRI 100 que los incluyan.

En algunos casos, y especialmente en las carreteras locales o en zonas urbanas, se pueden dar circunstancias que dificulten la medida o que lleven a resultados erróneos, como pueden ser las limitaciones de velocidad, tramos de muy corta longitud, presencia de intersecciones o glorietas, pavimentos con mucha textura (tratamientos superficiales, adoquines), presencia de tapas de registro, peajes, resaltos para la reducción de velocidad, intensidades elevadas de tráfico que provoquen retenciones, etc. Cuando se presenten estas condiciones se deben señalar adecuadamente en los registros de medida para que puedan ser considerados en la evaluación de los resultados.

Los informes de medida del IRI recogerán al menos:

- La identificación del tramo, calzada, carril y línea medidos, así como la fecha del ensayo, la empresa auscultadora y los técnicos que realizan la medida.
- La identificación del equipo de medida, su número de serie y, en su caso, los resultados de los ensayos de intercomparación con otros equipos.
- Una representación del IRI 100 cada 20 m a lo largo del tramo, para cada una de las rodadas medidas. Las referencias se darán por la distancia al PK anterior, en metros, y por las coordenadas GPS.
- Para cada uno de los kilómetros medidos (tomados como distancia entre hitos kilométricos de la carretera) y para cada una de las rodadas se darán los valores del IRI 100 del tramo evaluado que no sea rebasado por el 100%, 80% y 50% de los resultados. El IRI estará expresado en dm/hm y con una cifra significativa.
- Un listado de las localizaciones que excedan los valores de referencia del IRI 100 para alguna de las dos rodadas.
- Una representación del IRI 20 a lo largo del tramo medido, para cada una de las dos rodadas.
- Un listado de localizaciones en las que el IRI 20 excede los valores límite para alguna de las dos rodadas.

- Se entregarán las bases de datos georreferenciadas de manera que se puedan representar en sistemas cartográficos y las tablas con los resultados en formato editable.
- Si lo requiere la Diputación Foral para el estudio de las irregularidades, los datos del perfil longitudinal XY medido.

ANEJO 2

ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO

A2.1. INTRODUCCIÓN

Una función esencial de las carreteras es permitir una circulación suficientemente segura de los vehículos. La superficie de rodadura debe ofrecer unas características adecuadas de rozamiento que permitan que los vehículos frenen, aceleren o cambien de trayectoria con seguridad, de manera que se puedan tomar las curvas existentes a la velocidad señalizada, que se mantengan las distancias de frenado previstas o que los vehículos puedan realizar con seguridad los movimientos de cambio de trayectoria en situaciones de emergencia. La adherencia rueda-pavimento se ve determinada por el rozamiento entre ambos elementos en presencia de agua.

La adherencia de la rueda con el pavimento se consigue, en lo que se refiere al pavimento, por la combinación de la macrotextura y la microtextura de la superficie.

Tabla 5. Tipos de textura según la AIPCR

CLASE DE TEXTURA	LONGITUD DE ONDA (mm)	AMPLITUD (mm)
Megatextura	50-500	0,1-50
Macrotextura	0,5-50	0,01-20
Microtextura	0-0,5	0,01-0,5

La *macrotextura* está formada por las protuberancias u oquedades de altura inferior a 20 mm y viene determinada por el tamaño máximo del árido, la granulometría de la mezcla bituminosa y la técnica de compactación empleada.

El tipo de material que forma la rodadura puede proporcionar una textura positiva, como en los hormigones bituminosos, los tratamientos superficiales o los microaglomerados en frío, o una textura negativa, como en las mezclas discontinuas y en las drenantes.

La macrotextura supone una vía para la expulsión del agua atrapada bajo el neumático. En esta función complementa la de las ranuras de los neumáticos, que también se diseñan para que se pueda evacuar el agua. La eliminación del agua tiene su mayor efecto a elevadas velocidades. La macrotextura elevada, además de mejorar la adherencia y evitar el acuaplaning, reduce las proyecciones de agua y mejora las propiedades ópticas de los pavimentos mojados.

La macrotextura forma una superficie rugosa que facilita el rozamiento por deformación del caucho de la rueda. Por otro lado, si la macrotextura es positiva, puede llegar a aumentar el ruido y la resistencia a la rodadura. Una macrotextura negativa produce el efecto contrario: la macrotextura elevada reduce el ruido de rodadura y no afecta a la resistencia a la rodadura, pero puede disminuir la cohesión del material del pavimento y la resistencia al arranque de partículas.

La *microtextura* está formada fundamentalmente por la textura del árido de la capa. Las pequeñas irregularidades superficiales de las partículas de árido grueso y, en su caso, del mortero que le rodea permiten que el neumático rompa la película de agua superficial que cubre los áridos y tenga un apoyo seco. El efecto de la microtextura depende del coeficiente de rozamiento y resistencia al pulimento del árido grueso de la capa de rodadura (coeficiente de pulido acelerado), del tamaño máximo de los áridos y del porcentaje de árido fino en la mezcla bituminosa. El efecto de la microtextura no se refleja en toda su magnitud hasta que no se elimina la película de ligante superficial que cubre los áridos gruesos.

El árido se pule gradualmente por el paso del tráfico y va perdiendo microtextura hasta alcanzar una condición de equilibrio. El nivel de equilibrio depende de la IMD de pesados. En períodos secos la microtextura se reduce para luego regenerarse durante los períodos húmedos, con valores que van oscilando respecto al de equilibrio. La explicación de este fenómeno se puede encontrar en que en períodos secos las partículas que se depositan en la superficie son de tamaño polvo y actúan como abrasivos, mientras que en períodos húmedos se arrastran partículas de tamaño mayor que por rozamiento vuelven a generar microtextura. Las variaciones estacionales no solo se producen dentro de un determinado año, sino que pueden darse también en años sucesivos, aunque cuando se observan períodos largos de tiempo se mantienen alrededor del valor de equilibrio. La magnitud de las variaciones estacionales depende en gran medida de la categoría del tráfico pesado, y de las condiciones climáticas y de la cantidad de polvo y partículas suspendidas en el aire en la zona.

Hay otros factores adicionales que contribuyen a la seguridad del pavimento. Así, la superficie del firme debe contar con una pendiente transversal adecuada, libre de obstáculos laterales, para una rápida eliminación del agua. La regularidad superfi-

cial, longitudinal y transversal del pavimento debe ser suficientemente buena como para que no se acumule agua en las rodadas de los vehículos o no haya irregularidades que ayuden a que se produzcan despegues de las ruedas.

A2.2. MEDIDA DE LA MACROTEXTURA

Se pueden utilizar varios procedimientos para la medida de la macrotextura de un pavimento:

Métodos estáticos

- Método volumétrico (conocido como círculo de arena), que es el ensayo de referencia de medida de la macrotextura.
- Medida del drenaje superficial (drenómetros).

Métodos dinámicos

- Medida del perfil a la escala de la macrotextura (texturómetros láser).

En los métodos estáticos las medidas se realizan con el equipo parado sobre la zona a ensayar. Se mide sobre una superficie reducida, de manera que el rendimiento es bajo, se ha de cortar el tráfico en el carril ensayado y se debe hacer un número suficiente de repeticiones para que el resultado sea representativo de una determinada zona homogénea. Son frecuentes en la recepción de capas de rodadura pero no son de utilidad para la evaluación de tramos largos de carretera. Son de interés para la evaluación de zonas de corta longitud, para calibrar los equipos de alto rendimiento y para verificar la condición de tramos de carretera en los que en medidas previas realizadas con equipos de alto rendimiento se hayan detectado valores anómalos.

El método volumétrico consiste en extender sobre el pavimento un volumen conocido de esferas de vidrio de tamaño uniforme formando un círculo. Dividiendo el volumen del material extendido por el área del círculo, se obtiene la «profundidad media de textura (MTD)» que, expresada en milímetros, caracteriza la macrotextura. El ensayo se encuentra normalizado en la UNE-EN 13036-1, y es de aplicación para texturas comprendidas entre 0,25 mm a 5 mm. Para valores de textura inferiores a 0,25 mm las medidas no son representativas. Se deben hacer al menos cuatro medidas espaciadas de forma aleatoria sobre 50 m. El resultado de la medida es la media de los valores obtenidos en las medidas realizadas en los 50 m.

Para pavimentos de baja textura (inferior a 0,4 mm) y no drenantes se pueden utilizar los drenómetros de carga variable. La norma de aplicación es la UNE-EN 13036-3. Se deben tomar al menos 20 medidas espaciadas aproximadamente 2,5 m, y promediarlas para obtener el valor representativo de los 50 m ensayados.

Los métodos dinámicos permiten la evaluación de la textura de una manera rápida y son los más utilizados para carreteras en explotación. La medida del perfil a la escala de la macrotextura se hace mediante texturómetros láser, basados en la emisión un rayo láser sobre un punto del pavimento y en la determinación de la cota mediante un receptor que forma un ángulo con el emisor. Éste va generalmente montado sobre un vehículo que se desplaza a una cierta velocidad (entre 30 y 100 km/h). A partir de esta medida del perfil, se calcula la profundidad media de textura MPD (Mean Profile Depth), de acuerdo con la Norma ISO 13473-1. En la Norma ISO se indica la fórmula de conversión del valor MPD al valor estimado de la textura ETD (Estimated Texture Depth), que se considera equivalente a la textura volumétrica MTD. La fórmula de paso es la siguiente:

$$ETD = MPD \times 0,8 + 0,2$$

Los texturómetros láser toman medidas de manera continua. A partir de los datos puntuales se dan resultados medios en intervalos de 10 ó 20 m, según definan las Diputaciones Forales.

Las medidas de textura, realizadas con cualquiera de los procedimientos señalados, se pueden realizar en cualquier época del año siempre que la superficie se encuentre seca.

Las medidas de macrotextura se realizan en la línea de rodada derecha de los vehículos, definida según la Figura 1, y al menos en el carril exterior (de vehículos lentos) y preferiblemente en ambos carriles.

Los informes de medida de la macrotextura recogerán al menos:

- La identificación del tramo, calzada, carril y línea medidos, así como la fecha del ensayo, la empresa de auscultación y los técnicos que realizan la medida.
- La identificación del equipo de medida y su número de serie.
- Una representación de la macrotextura cada 20 m a lo largo del tramo, para la rodada derecha de cada uno de los carriles medidos. Las referencias se darán por la distancia al PK anterior, en metros, y por las coordenadas GPS. La textura se expresará en mm y con una cifra significativa.
- Un listado de las localizaciones con textura menor que los valores límite de referencia para alguna de las dos rodadas.

- Se entregarán las bases de datos georreferenciadas de manera que se puedan representar en sistemas cartográficos y las Tablas con los resultados en formato editable

A2.3. MEDIDA DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La resistencia al deslizamiento es el coeficiente de rozamiento de una superficie medido con una rueda normalizada y en unas condiciones estandarizadas de humedad y movimiento de la rueda. La medida se realiza a una baja velocidad de deslizamiento (que no coincide con la de desplazamiento del vehículo) y es especialmente sensible a la microtextura.

Existen equipos para la medida de la resistencia al deslizamiento longitudinal o transversal, aunque la medida tipo a efectos de estas Recomendaciones es la de rozamiento transversal (CRT). Si se utilizan los de rozamiento longitudinal sus resultados deben transformarse en los equivalentes de CRT. Los equipos que se utilizan para este ensayo miden el rozamiento entre el pavimento y la rueda o el patín de caucho que se utilizan para la medida. Para la medida se forma una película de agua de altura normalizada delante de la rueda o patín, realizándose así la evaluación del coeficiente de rozamiento con pavimento húmedo.

Medida de la resistencia al deslizamiento transversal

Se realiza de forma dinámica mediante el equipo SCRIM o similar, que está provisto de una rueda lisa que se sitúa de forma oblicua ($\alpha = 20^\circ$) al sentido de la marcha de avance del vehículo de medida, y sobre la que se aplica una carga normalizada, dando así un coeficiente de rozamiento transversal que se considera la medida tipo de la resistencia al deslizamiento. El procedimiento de medida está definido en la Norma UNE 41201 IN. Los resultados se dan cada 20 m de carril auscultado.

Medida de la resistencia al deslizamiento longitudinal

Hay varios equipos para la medida del deslizamiento longitudinal entre los que se encuentra el Griptester, que mide de forma continua el coeficiente de rozamiento entre la carretera y un neumático normalizado con un bloqueo parcial (15%). Se trata de un equipo remolcado por un vehículo que circula a una velocidad de 50 km/h, provisto de un depósito de agua para el ensayo. La medida se realiza de acuerdo con la especificación técnica UNE-CEN/TS 15901-7 IN. Como resultado del ensayo

se obtiene un coeficiente de rozamiento denominado Grip Number (GN). El GN se puede convertir en CRT mediante la expresión:

$$\text{CRT SCRIM (\%)} = \frac{0,89 \times \text{GN} \times 100}{0,78}$$

Los resultados se dan cada 20 m de carril auscultado.

Mediante el ensayo del péndulo se puede medir la resistencia al deslizamiento en estático y de manera puntual. Consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo normalizado y provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie que se ensaya en una longitud fija. El ensayo resulta lento y requiere cortar al tráfico el carril que se ensaya. El pequeño tamaño de la zapata hace necesario llevar a cabo un número elevado de medidas para que el resultado sea fiable. Se deben tomar al menos 20 medidas espaciadas unos 2,5 m y la media de todas ellas se asigna a los 50 m ensayados. El ensayo se debe llevar a cabo según la Norma UNE-EN 13036-4. Como resultado del ensayo se obtiene un valor PTV.

No se cuenta con una correlación normalizada entre los valores de PTV y los de CRT aunque en algunos casos se ha utilizado la siguiente expresión:

$$\text{CRT SCRIM (\%)} = \frac{\text{PTV}}{105}$$

El empleo de esta u otra correlación entre ambos parámetros deberá ser autorizado en cada caso por la Diputación Foral.

Las medidas de resistencia al deslizamiento se realizan al menos en el carril de circulación de los vehículos pesados, que es generalmente el exterior, y en ambas direcciones del tráfico para carreteras de calzada única y doble sentido de circulación. La rueda de medida irá dispuesta de manera que se caracterice la zona de rodada correspondiente a la rueda derecha de los vehículos.

Los equipos Griptester y SCRIM se pueden utilizar indistintamente con las correlaciones indicadas. El empleo del péndulo portátil se limitará a situaciones muy específicas, cuando, por razones de urgencia o de longitud de tramo, no puedan utilizarse los equipos señalados, o cuando se quiera verificar medidas obtenidas mediante los equipos anteriores que resulten anómalas. También se utiliza este equipo para medidas en viales urbanos y marcas viales.

La velocidad de medida influye en los resultados de la resistencia al deslizamiento, obteniéndose valores menores al aumentar la velocidad. Las resistencias al

deslizamiento medidas con los equipos de auscultación son menores que las que experimentan los vehículos al circular a velocidades elevadas en las carreteras. Las velocidades de medida de los equipos CRT y Griptester se tomarán de la Tabla 6.

Tabla 6. Velocidades de medida con los equipos SCRIM y GRIPTESTER

VELOCIDAD SEÑALIZADA EN EL TRAMO (km/h)	VELOCIDAD DE MEDIDA (km/h)
$V < 50$	40
$50 \leq V < 70$	50
$70 \leq V < 100$	70
$V \geq 100$	80

Las medidas de resistencia al deslizamiento se deberán realizar preferiblemente en período seco, considerando como tal aquel en el que la precipitación acumulada en los 15 días anteriores a la realización de la medida no sea superior a 50 mm.

Los equipos SCRIM y Griptester no cuentan con una corrección de resultados por temperatura, pero con el péndulo se debe aplicar un coeficiente corrector del PTV para expresar los resultados del ensayo a 20°C y tener en cuenta las condiciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada.

Los operarios de los equipos deberán reflejar en el informe de auscultación todas aquellas circunstancias presentes durante la medida que puedan afectar a los resultados, como presencia de detritus, marcas viales, sellados, lluvias fuertes o existencia de agua en la calzada, cambios obligados de carril, reducciones de velocidad por entrada en glorietas, presencia de semáforos u otras.

Los informes de medida del CRT recogerán al menos:

- La identificación del tramo, calzada, carril y línea medidos, así como la fecha del ensayo, la empresa auscultadora y los técnicos que realizan la medida.
- La identificación del equipo de medida y su número de serie.
- Una representación del CRT cada 20 m y cada 100 m a lo largo del tramo, para cada una de las rodadas medidas. El CRT expresado en unidades y con una cifra significativa. Las referencias se darán por la distancia al PK anterior, en metros, y por las coordenadas GPS.
- Un listado de las localizaciones que excedan los valores de referencia del CRT para alguna de las dos rodadas.

- Se entregarán las bases de datos georreferenciadas de manera que se puedan representar en sistemas cartográficos y las Tablas con los resultados en formato editable.
- La Diputación Foral podrá exigir la presentación de videos de la carretera tomados durante el ensayo para analizar el origen de los valores bajos o anómalos.

Ajustes entre campañas de medida de la resistencia al deslizamiento transversal por estacionalidad y pluviometría

Los valores de medida del rozamiento trasversal no son constantes a lo largo del año, produciéndose una variación estacional, cuya amplitud depende a su vez de la climatología de cada año. Además, la presencias de lluvias y su intensidad en los 15 días previos a la toma también tienen cierto efecto en los resultados, aunque menor que la estacionalidad.

Para ajustar las campañas medidas en épocas climáticas distintas y hacer comparaciones con valores en condiciones homogéneas se puede utilizar el siguiente método para transformar todas medidas a un valor mínimo (verano) independientemente de la fecha de la toma:

1. Si no se dispone de una campaña de referencia (cuyos datos hayan sido tomados en verano) o se trata de datos puntuales de alguna zona localizada, se estima que el comportamiento de los datos siguen una función senoidal. Esta función senoidal tiene su máximo el día 1 de enero y su mínimo el día 31 de julio, siendo su amplitud entre picos diferente en función del firme según la tabla siguiente:

Tabla 7. Diferencia estacional para traficos intensos

Tipo de mezcla	BBTM	PA	Mezcla Convencional	Lechadas bituminosas
Diferencia entre invierno y verano (A _p)	7,5	9	7,5	9

Para obtener el valor de verano deberá restarse por tanto la cantidad, en función de los días transcurridos desde el 1 de enero a la fecha de la toma y el tipo de firme, según la fórmula:

$$CRT_{CORREGIDO\ EST.} = CRT - A_p/2 \times \left(1 + \cos\left(\frac{DÍAS\ DESDE\ 1\ DE\ ENERO \times 2\pi}{365} \right) \right)$$

A esta corrección se le puede añadir la corrección por pluviometría, que es de una magnitud menor según la fórmula del WRF (Weigthed Rain Function) que pondera el efecto de la lluvia según los días transcurridos:

$$WRF = \sum_{i=1}^n \left(\frac{R_i}{i} \right)$$
 donde i es el número de días anterior al ensayo (15 días) y R_i es la precipitación en mm para el día i .

$$CRT_{CORREGIDO PLUV.} = CRT - 0,1 \times WRF$$

2. Si se dispone de una campaña de referencia, la transformación entre los datos del CRT se hace siguiendo el siguiente método:

a) Se descartan los tramos cuyo firme haya sido modificado entre campañas, ya sea por nueva mezcla bituminosa o por retexturización

b) Se obtiene en cada tramo de 20 m, la relación $\frac{CRT_{Campaña actual.}}{CRT_{Campaña referencia.}}$

c) Para cada eje completo se obtiene la media de los valores anteriores

$$K = 1/n \times \sum \frac{CRT_{Campaña actual.}}{CRT_{Campaña referencia.}}$$

d) Con el valor K se modifican todos los valores del eje:

$$CRT_{CORREGIDO} = \frac{1}{K} \times CRT_{Campaña actual}$$

ANEJO 3

EJEMPLO DE LA COMPROBACIÓN DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL (TEXTURA Y RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO) EN CURVA

En el siguiente ejemplo se comprueba un tramo en curva con las siguientes características superficiales:

- CRT, medido con el Scrim a 50 km/h: 50 (se introducirá como 0,50 en la fórmula)
- Textura MPD: 0,7 mm
- Velocidad señalizada en la curva: 120 km/h
- Radio de curvatura: 750 m
- Peralte: 8%

(A efectos del ejemplo se considera un único radio y peralte, pero en la práctica se deberían tomar el radio y peralte de cada punto de la traza).

Cálculo de la constante de velocidad S_p

$$S_p = a + b \times T_x; a = 14,2 \text{ y } b = 89,7 \text{ para MPD}$$

Cálculo del rozamiento ofertado equivalente a 60 km/h, FR (60)

$$FR (60) = FR (S) \times e^{[(S-60)/S_p]}$$

Cálculo del rozamiento ofertado a 60 km/h ajustado para el equipo, F(60)

$$F (60) = A + B \times FR (60) + C \times T_x; \text{ con } A = 0,021; B = 0,928 \text{ y } C = 0$$

Cálculo del rozamiento ofertado ajustado para el equipo a la velocidad de circulación, F (V)

$$F(V) = F(60) \times e^{[(60-V)/S_p]}, V = 120 + 20 = 140 \text{ km/h}$$

Cálculo del rozamiento demandado

$$F_t \text{ demandado} = (V^2 / (127 \times R)) - (p \text{ (en \%)} / 100)$$

CÁLCULO S_p		CÁLCULO FR (60)		CÁLCULO F (60)		CÁLCULO F (140)	
a	14,2	S (km/h)	17,1	A	0,021	V (km/h)	140
b	89,7	FR (S)	0,50	B	0,928	F (V)	0,101
T_x (mm)	0,7	FR (60)	0,286	F (60)	0,287		
S_p	77,0						

COMPROBACIÓN	
F_t ofertado F (V)	0,101
F_t demandado	0,126

Como el rozamiento ofrecido a 120 km/h (F(V)) es inferior al demandado (F_t demandado), la curva requiere una actuación de mejora superficial.

COMISIÓN DEL PLAN GENERAL DE CARRETERAS DEL PAÍS VASCO

Luis Pedro Marco de la Peña

Viceconsejero de Infraestructuras y Transportes del Gobierno Vasco
Presidente de la Comisión del Plan General de Carreteras del País Vasco

Miguel de los Toyos Nazabal

Viceconsejero de Planificación Territorial y Agenda Urbana del Gobierno Vasco

Ivan Pedreira Lanchas

Director de Planificación del Transporte del Gobierno Vasco

Carlos Ibarlucea Martínez

Diputado Foral de Infraestructuras Viarias y Movilidad de Alava

Imanol Pradales Gil

Diputado Foral de Infraestructuras y Desarrollo Territorial de Bizkaia

Aintzane Oiarbide Iruretagoiena

Diputada Foral de Infraestructuras Viarias de Gipuzkoa

PONENCIA TÉCNICA

Gobierno Vasco

Ivan Pedreira Lanchas

Director de Planificación del Transporte

Luis Ignacio López de Aguilera Salazar

Responsable de Infraestructuras de Transporte

Diputación Foral de Araba

Ferran Solé i Pallejà

Director de Infraestructuras Viarias

Miguel Ángel Ortiz de Landaluce Martínez de Rituerto

Jefe del Servicio de Carreteras

Diputación Foral de Bizkaia

Jon Eramunda Larrea Arrutia

Director General de Innovación y Gestión Viaria

Carlos Estefanía Angulo

Subdirector General de Gestión de la red Viaria

José Luis Ruiz Ojeda

Jefe del Servicio de Conservación

Diputación Foral de Gipuzkoa

Mikel Uribetxebarria Barrena

Director General de Gestión y Planificación

José Antonio Navarro Jausoro

Técnico del Servicio de Rehabilitación de Infraestructuras Viarias y Oficina Técnica

REDACCIÓN

Aurelio Ruiz Rubio

Director de CIESM-INTEVIA