

Hacia un control efectivo de la regularidad superficial

por Bartolomé Sánchez López
Dr. Ingeniero de Caminos
Jefe del Servicio de Técnica
de Carreteras, DGC, MOPT.

e Ignacio Sánchez Salinero
Dr. Ingeniero de Caminos, M. Sc., Ph. D.
Director General EUROCONSULT-CEBTP, S.A.



Equipo A.P.L. (Analyseur de Profil en Long.)

1. Introducción.

La función principal de una carretera es proporcionar un medio de comunicación o transporte de bienes y pasajeros a los miembros de una sociedad. Para que una carretera sea funcional es necesario que el transporte se realice con seguridad, con comodidad y económicamente. Definir el grado de funcionalidad de una carretera es una labor difícil y en gran parte subjetiva. Es probable que existan carreteras consideradas como poco adecuadas para unos sectores de la sociedad y en cambio lo sean para otros, lo mismo que habrá carreteras que sean adecuadas para unas labores y no lo sean para otras.

En lo que se refiere al firme la funcionalidad de una carretera está

principalmente caracterizada por dos factores: la resistencia al deslizamiento entre rueda y pavimento y la regularidad superficial. La resistencia al deslizamiento no necesita mayores explicaciones y es evidente que su estado influye muy directamente en la seguridad durante la circulación, especialmente cuando la carretera está húmeda.

La regularidad superficial es de difícil definición pero se puede entender como aquella característica de la carretera que contribuye a producir, o no, movimientos en los vehículos los cuales pueden revertir en una conducción incómoda, insegura y antieconómica. Estos movimientos están muy directamente influenciados por el tipo y tamaño de las irregularidades superficiales de la carretera, pero también depende del tipo de vehículo que se utilice, de la velocidad de circulación e in-

cluso de la forma de conducir. Está generalmente aceptado que la gama de irregularidades que influyen en la regularidad superficial, son aquellas con longitudes de onda comprendidas entre 0,5 m y 50 m, y amplitudes entre unos pocos milímetros y varios centímetros (menos de 20 cm.)^(1,2).

Hay que considerar, por otro lado, que las administraciones de carreteras necesitan, para la gestión de sus redes, de unos niveles o umbrales de aceptación de la funcionalidad de las carreteras que les permita tomar las decisiones oportunas. Estos umbrales deben servir para la recepción de carreteras de nueva construcción y para determinar dónde y cuándo realizar las obras de conservación de las carreteras en servicio.

Al ser el grado de funcionalidad de una carretera un concepto subjetivo

1. Referencias al final del texto

“**H**oy en día existen equipos perfilométricos mucho más apropiados y otras escalas, como el IRI (Índice de Regularidad Internacional) por ejemplo, que son más aconsejables para valorar la regularidad superficial.”

vo que depende de la opinión de cada usuario, estos umbrales deberían ser establecidos por un grupo bien informado de personas que representen a los distintos tipos de usuarios (según edad, sexo, destreza, profesión, etc.) que utilizan las carreteras, los cuales son, al fin y al cabo, los dueños de éstas. Es evidente que disponer de un panel de evaluadores que incorpore miembros de los distintos sectores de la sociedad, cada vez que haya que analizar el grado de aceptación de una carretera, es una labor complicada, sino imposible. Esta y otras complicaciones motivaron que en los años sesenta y durante los ensayos de carreteras de la AASHO (ahora AASHTO) en los EE.UU., se definieran el PSR y el PSI (Present Serviceability Rating y Present Serviceability Index) como el Grado de Servicio Actual y el Índice de Servicio Actual de una carretera.

2. Los conceptos del PSR y PSI.

Conscientes de que no se podía disponer de un grupo de evaluadores adecuado cada vez que se fuese a valorar una carretera, se organizó un experimento, muy bien diseñado, en donde un grupo de personas, bien seleccionadas o informadas y representantes de los distintos tipos de usuarios, valoras en una serie de carreteras también bien seleccionadas y representativas de la gama de carreteras existentes. Estas carreteras se valoraron en una escala que, de peor a mejor, oscilaba de 0 a 5. Esta escala se denominó PSR y en ella un valor de 5 indicaba una carretera inmejorable y un valor de 0 una carre-



Equipo del B.P.R. (Bureau of Public Roads)

tera que, a la velocidad que se circulaba durante la evaluación, era intransitable. Al mismo tiempo se realizaron, sobre las mismas carreteras, unas series de evaluaciones de la regularidad superficial con equipos de alto rendimiento, las cuales fueron correlacionadas con los resultados obtenidos del PSR. El resultado de la correlación proporcionó para cada carretera o tramo un indicador de la regularidad superficial al cual se denominó PSI.

Con esta metodología era posible realizar evaluaciones objetivas de la regularidad superficial, con equipos de alto rendimiento y relacionadas con los baremos establecidos por un panel de evaluadores, representantes de los distintos tipos de usuarios.

Muchas de las ideas latentes en el PSI o en el PSR son aún vigentes en la actualidad. Es evidente que el PSI no es la mejor escala de evaluación de la regularidad ni que los equipos que se usaron en el ensayo AASHO sean los más adecuados para su medida. Hoy en día existen equipos perfilométricos mucho más apropiados y otras escalas, como el IRI (Índice de Regularidad Internacional) por ejemplo, que son más aconsejables para valorar la regularidad superficial. Sin embargo aún es necesario, e incluso hoy en día quizás mucho más que antes, establecer esa correlación entre niveles de aceptación social y valores de la escala o escalas de regularidad que se pretendan utilizar.

Es necesario por lo tanto definir esos umbrales sociales de aceptación. Es importante percatarse que las correlaciones que se realizaron en otros países y en otras épocas no son válidas en la actualidad. Las téc-

nicas de construcción de carreteras han evolucionado, los vehículos han cambiado, los equipos de evaluación también han mejorado, pero sobre todo las exigencias sociales han experimentado grandes cambios.

3. El establecimiento de los niveles de servicio.

La sociedad española necesita una definición actual de los niveles de servicio de sus carreteras. Es necesario definir esos niveles principalmente para establecer los criterios de aceptación en la recepción de carreteras de nueva construcción, pero también para determinar el grado de aceptación social de carreteras existentes.

Así mismo es necesario definir muy claramente la política a seguir en caso de que no se cumplan esos umbrales de aceptación. De nada sirve tener bien definidos los criterios de calidad de una carretera si, en caso de no cumplirse los mínimos exigibles, las decisiones para su corrección no se toman o se dejan a juicio de una sola persona sobre la cual recae toda la responsabilidad. Esa persona debe estar respaldada por una normativa bien establecida y conocida que defina claramente los criterios de aceptación o rechazo y la forma de corregir las deficiencias.

Por otro lado y en el caso de carreteras de nueva construcción es aconsejable, además, definir un programa de bonificaciones y penalizaciones que prime aquellos trabajos en que la calidad supere los límites de aceptación contractuales y penalice aquéllos que no cumplan los requisitos mínimos.

Para llevar a buen término estos fines, es necesario definir una me-

“ Los equipos de medida pueden ser de tipo respuesta o perfilométricos. Los equipos de tipo respuesta presentan una evaluación de la regularidad superficial que representa la “respuesta” de un vehículo o parte de un vehículo que circula a una cierta velocidad por el pavimento. ”

... metodología de evaluación razonable que sea aceptable tanto para la Administración como para el Contratista. No basta con definir los umbrales de aceptación y criterios de penalización o bonificación, hay que disponer de una metodología de evaluación —equipos y normativa— con los que realizar la auscultación de las distintas etapas de la obra, de manera que se puedan realizar a tiempo las correcciones necesarias, y no se acumulen defectos de regularidad que no será posible eliminar con la extensión de la última capa.

Se presentan, en el resto del artículo, los criterios de evaluación de la regularidad superficial que a juicio de los autores son los más adecuados tanto para efectuar controles de la ejecución de obras de nueva construcción como para realizar evaluaciones de redes existentes. Así mismo, se incluyen una serie de recomendaciones para conseguir mediante un control racional de la construcción, unas capas de rodadura con la calidad que merece una sociedad que invierte gran parte de su producto nacional bruto en la construcción de nuevas carreteras.

4. Métodos de evaluación de la regularidad superficial.

Dos elementos importantes influyen en los métodos de evaluación de la regularidad superficial: el equipo de medida y el análisis que se hace de esta medida.

Los equipos de medida pueden ser de tipo respuesta o perfilométricos^{1/2/3}. Los equipos de tipo respuesta presentan una evaluación de la regularidad superficial que representa la

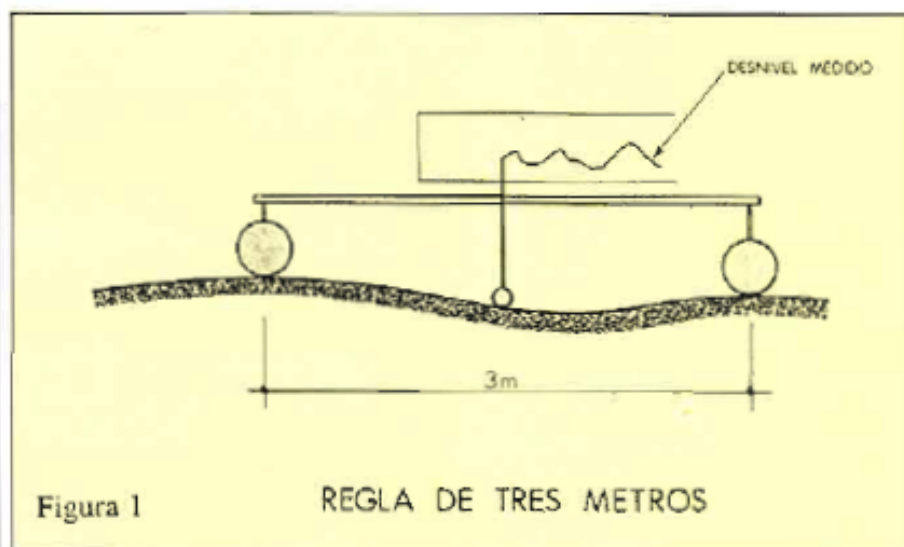


Figura 1

REGLA DE TRES METROS

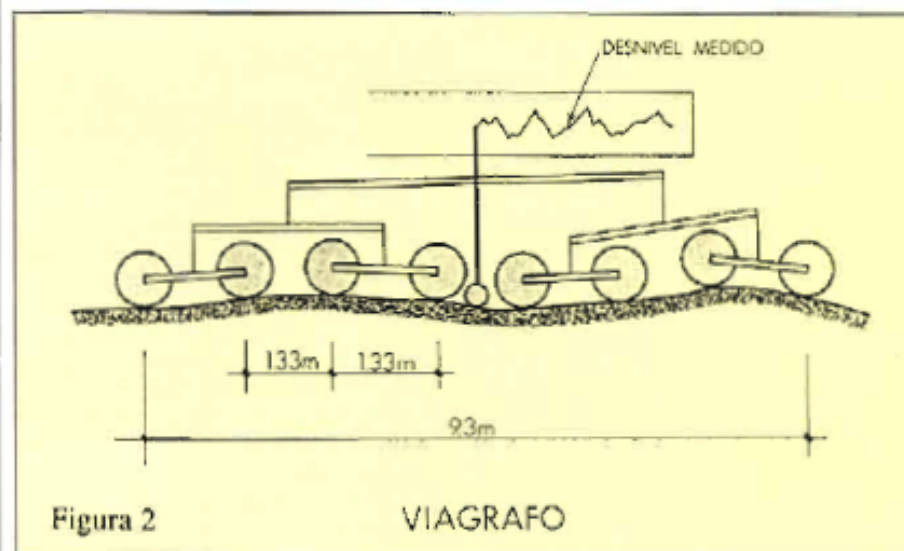


Figura 2

VIAGRAFO

“respuesta” de un vehículo o parte de un vehículo que circula a una cierta velocidad por el pavimento. Al ser la respuesta dependiente del tipo de vehículo y de la velocidad de circulación, existe una gran variedad de indicadores utilizables con este tipo de vehículos lo cual complica la comparación del estado de las carreteras de distintos países o estados. Además al depender, también, la respuesta del estado del vehículo se obtienen indicadores que pueden variar con el estado del vehículo. Por estos motivos los equipos de tipo respuesta están siendo reemplazados por equipos de tipo perfilométrico.

La gran mayoría de los equipos perfilométricos proporcionan un perfil aproximado del real, dado que sólo son sensibles a una gama de longitudes de onda. Sin embargo los hay que pueden considerarse de precisión al medir, dentro de esa gama de longitudes de onda, todas las irregularidades con exactitud, y los que pueden considerarse aproximados ya

que, aún dentro de esa gama, no miden todas las irregularidades con la misma exactitud. Un buen equipo perfilométrico de medida de la regularidad superficial debe ser sensible y medir correctamente las irregularidades con longitudes de onda comprendidas, aproximadamente, entre 0,5 y 50 m., que son las que afectan a la comodidad, seguridad y economía durante la circulación.

En España se utilizan varios equipos de tipo perfilométrico que, por orden de antigüedad, son: Regla Rodante de Tres Metros, Viagrafo, APL (Analyseur de Profil en Long), RST (Road Surface Tester) y Dipstick. La Regla de Tres Metros (Fig. 1) y el Viagrafo (Fig. 2), miden desniveles entre la rueda de medida y el plano medio de las ruedas de apoyo^{4/5}. Al ser sus Curvas de Respuesta poco planas, estos equipos no proporcionan una medida de calidad de la regularidad superficial^{6/7}. Sin embargo, su baja velocidad de ensayo y la pequeña interferencia con la evolución general de la obra, los hace útiles pa-

ra el control de ejecución de tramos, en general cortos, donde no pueden ser empleados los equipos de gran rendimiento. Los otros tres, Dipstick, APL y RST, son adecuados para la evaluación de la regularidad superficial (presentan Curvas de Respuesta bastante planas). El Dipstick (Fig. 3) es aconsejable para el control durante la ejecución y los otros dos para el seguimiento del estado de la red^{10, 11}. El Dipstick se utiliza, además, dada su gran precisión, para la calibración de equipos de alto rendimiento¹⁰.

La evaluación de la regularidad superficial depende del equipo que se emplee. Con la Regla rodante de Tres Metros se utilizan directamente las desnivelaciones medidas para evaluar la regularidad⁴. La normativa española establece unos límites para el caso de carreteras de nueva construcción, los cuales se comentan en este mismo artículo un poco más adelante.

De las desnivelaciones medidas con el Viógrafo se calcula el llamado Coeficiente de Viógrafo, CV (requerido por los Pliegos españoles) y el coeficiente de Irregularidad. La normativa española define el CV como "igual al doble del área a escala natural de la superficie comprendida entre la línea irregular del perfil obtenido y la línea media (estimada o calculada), expresada en dm²/hectómetro y calculada por rectángulos inscritos de 5 mm. de altura"². A diferencia de la evaluación que se hace con Regla de Tres Metros que es puntual, la evaluación con Viógrafo se realiza sobre tramos de cien metros. Por último, los equipos perfilométricos de precisión Dipstick, APL y RST, son adecuados para el cálculo del IRI, de incorporación reciente a la normativa española.

El IRI se define como la pendiente rectificadora media de los movimientos relativos de las masas, de un modelo normalizado de un cuarto de coche, circulando sobre el tramo de la carretera a evaluar a una velocidad de 80 km/h¹¹. El hecho de que en el análisis el modelo de coche tenga que circular a 80 km/h no implica que el perfil tenga que ser medido a dicha velocidad. Es más, las evaluaciones más precisas del IRI se obtienen a partir de perfiles medidos con técnicas topográficas o con el Dipstick que en modo alguno se realizan a esa velocidad. La normativa española requiere que el IRI se evalúe por tramos de cien metros, al igual que para el Viógrafo, y que



Dipstick

su valor se exprese en unidades de m/km (mm/m ó dm/hm).

Desde el punto de vista de calidad y teniendo en cuenta la forma de sus Curvas de Respuesta, los indicadores más recomendables para la evaluación de la regularidad superficial son, por orden de preferencia, el IRI,

“La normativa española define el CV como: igual al doble del área a escala natural de la superficie comprendida entre la línea irregular del perfil obtenido y la línea media (estimada o calculada), expresada en dm²/hectómetro y calculada por rectángulos inscritos de 5 mm de altura”

“Desde el punto de vista de calidad y teniendo en cuenta la forma de sus Curvas de Respuesta, los indicadores más recomendables para la evaluación de la regularidad superficial son, por orden de preferencia, el IRI, el coeficiente de Viógrafo y el desnivel medido con Regla de Tres Metros.”

el coeficiente de Viógrafo y el desnivel medido con Regla de Tres Metros⁷.

5. La verificación de los equipos de medida.

La valoración de la regularidad superficial de las carreteras ha sido realizada tradicionalmente, mediante la auscultación con equipos especiales, los cuales proporcionaban unos indicadores de regularidad exclusivos a esos equipos. Hoy en día, la valoración de la regularidad superficial con IRI o mediante técnicas de análisis espectral, posibilita la utilización de equipos perfilométricos diversos para definir unos mismos indicadores de regularidad. Esta característica que permite utilizar escalas universales de valoración y posibilita comparaciones fáciles entre carreteras de distintos países o regiones, presenta a las Administraciones de Carreteras el problema de la verificación y/o homologación de los distintos equipos de medida, problema que por otro lado, es inherente a todo equipo de medida de un mismo parámetro físico. Sin embargo, mientras algunos equipos son fáciles de verificar y por tanto homologar, p. ej., una prensa; los equipos de medida de las características superficiales son difíciles de verificar y calibrar por la falta de patrones. A este respecto se está haciendo un esfuerzo especial en los últimos años, por parte de los fabricantes de coches y neumáticos y de la comunidad de carreteras, por crear superficies patrón sobre las cuales evaluar las distintas características superficiales y en

“**P**ara el control diario de la regularidad superficial los equipos más adecuados son aquellos de fácil manejo en obra. Con este fin los más indicados son la Regla de Tres Metros y el Dipstick y en menor medida el Viógrafo.”

donde calibrar y verificar los equipos de medida¹².

6. Control durante la construcción.

6.1. Sistema actual.

Muchos parámetros afectan la buena terminación de un firme de carreteras. La calidad y homogeneidad de los materiales y un ritmo regular de producción y extendido de los materiales son elementos fundamentales para la buena terminación de las capas. Sin embargo, uno de los elementos que más influye en la regularidad superficial de una capa es la terminación de la capa subyacente. Difícilmente se podrán conseguir valores del IRI, por ejemplo, inferiores a dos m/km. en la capa de rodadura si en la capa intermedia el valor del IRI es superior a cuatro. Ingrediente fundamental para conseguir una buena regularidad superficial en la capa de rodadura, es que la terminación de las capas anteriores sea la adecuada. Las extendedoras modernas corrigen en gran parte las irregularidades de la capa anterior. Sin embargo, si las irregularidades de una capa son muy marcadas será muy difícil corregirlas con la capa superior.

Por tanto, una política encaminada a la construcción de carreteras de calidad aconseja un control diario desde las capas de base que permita una corrección de los defectos que se presentan. Si los resultados del día anterior no son adecuados, será necesario adoptar las medidas oportunas para corregir el proceso de extendido (controlar la calidad y homogeneidad de los materiales, el ritmo de producción y extendido, etc...). Con los resultados de la terminación de las capas de base, se decidirá la técnica de extendido y

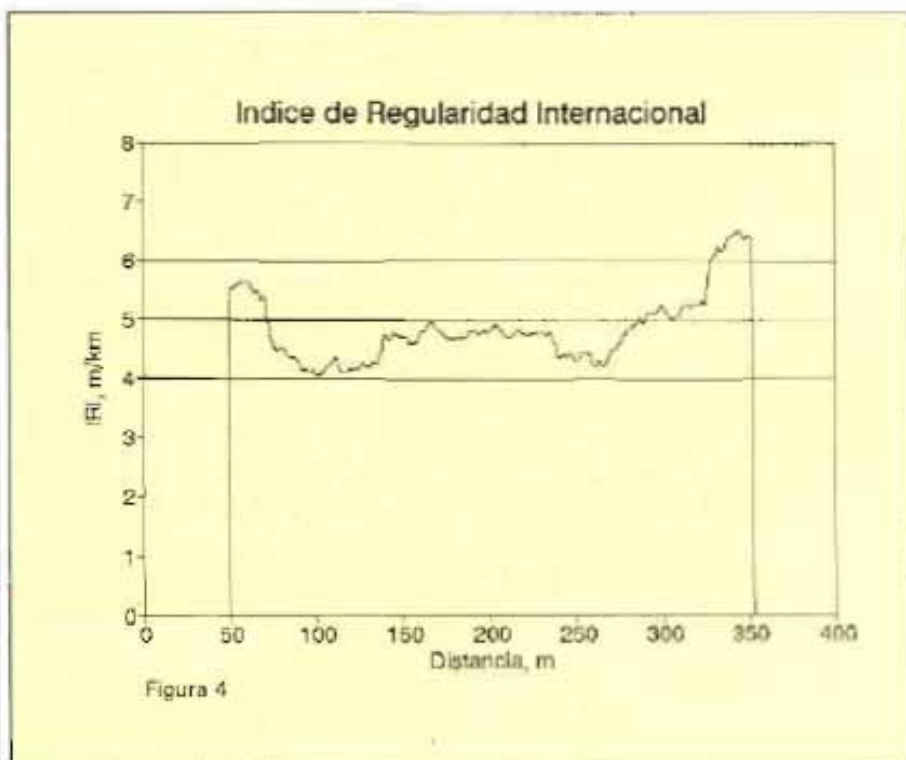


Figura 4

el cuidado necesario en las capas intermedias. A su vez el control diario de la regularidad de la capa intermedia servirá de "feedback" para corregir la técnica de extendido. Por último, los resultados finales en la capa intermedia indicarán si es necesario o no, extremar el cuidado durante la construcción de la capa de rodadura.

Para el control diario de la regularidad superficial los equipos más adecuados son aquellos de fácil manejo en obra. Con este fin los más indicados son la Regla de Tres Metros y el Dipstick y en menor medida

el Viógrafo. El primero de ellos proporciona una medida que no es de mucha calidad¹³ y de difícil interpretación (en la mayoría de los casos no existen registros gráficos y aunque existan, es difícil determinar el nivel cero y media de las desnivelaciones). Sin embargo, su tamaño y manejabilidad lo hacen adecuado para el control diario en obra. El Viógrafo es de uso más complicado y puede interferir con el ritmo normal de la obra. Más interesante es el control con Dipstick, que es muy manejable, proporciona medidas de

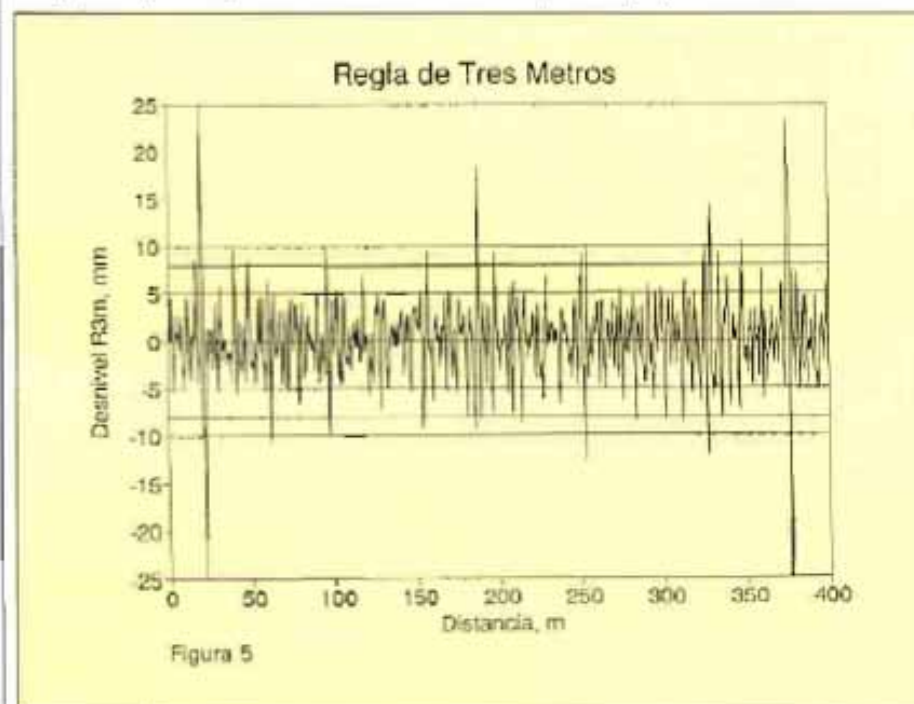


Figura 5

precisión fácil de interpretar y además permite el cálculo del IRI.

Para la recepción definitiva de carreteras, equipo de mayor rendimiento como los APL, RST y en menor medida los Viágrafos son más recomendables. Los dos primeros permiten evaluaciones de muchos kilómetros de red, no requieren controles de tráfico y permiten el cálculo del IRI. El último requiere controles de tráfico y no proporciona una medida correcta del IRI.

Los tres indicadores de la regularidad superficial que se manejan en la actualidad en España, desnivel con Regla de Tres Metros, coeficiente de Viágrafo e IRI son adecuados para el control y recepción de firmes. Sin embargo el IRI proporciona la medida más lógica de la regularidad superfi-

los casos del Viágrafo y del IRI sea de 100 m no parece tener gran importancia. Hay que considerar que cuanto mayor sea la longitud de evaluación más se promediarán los defectos y más difícil será distinguir las zonas con peor regularidad. El problema se agudiza si se tiene en cuenta que la normativa española requiere que las evaluaciones se realicen por tramos independientes de 100 m. Este hecho puede conducir a que queden camuflados entre tramos buenos, otros en malas condiciones. Considérese, por ejemplo, una zona de carretera de 300 m de longitud en la que los valores del IRI son de 1,0, 3,0 y 1,0 m/km para el primer, segundo y tercer tramo de cien metros, respectivamente. Si la evaluación del IRI se hubiese realizado, en cambio, en los dos tramos

“**L**a normativa española exige en estos momentos que las evaluaciones con coeficiente de Viágrafo e IRI se efectúen por tramos consecutivos de 100 m y que en esos tramos los valores obtenidos no excedan de unos umbrales establecidos.”

102, ... 200-300 m. Es decir una evaluación continuada del IRI por tramos de cien metros. De esta manera se evalúan todos los tramos de 100 m posibles, eliminando posibles camuflajes, y además permite determinar en qué puntos exactos de la carretera se están produciendo las anomalías, para actuar sobre ellas.

En la Fig. 4 se presenta la evaluación continuada del IRI sobre una capa de gravacemiento de aproximadamente 400 m de longitud y medidos con el Dipstick. En esta figura el valor del IRI a una distancia x , es el correspondiente a una evaluación efectuada en un tramo de 100 m de $x-50$ a $x+50$ m. Por tanto no existen valores del IRI en los primeros o últimos 50 m.

Se observa que a 325 m el valor del IRI aumenta rápidamente, indicando que a una distancia de $325 + 50 = 375$ m existen algunas deficiencias notables en la superficie de la gravacemiento. Así mismo la disminución que se produce a 75 m indica que a $75-50=25$ m también existen grandes irregularidades. En la Fig. 5 se presentan los desniveles obtenidos con Regla de Tres Metros, donde se observa que, efectivamente, a estas distancias se producen irregularidades.

Efectuando un tratamiento similar al del IRI, con el coeficiente de Viágrafo, se obtiene un gráfico como el de la Fig. 6 en donde se pueden realizar similares conclusiones. Obsérvense las zonas planas y los incrementos bruscos que se producen en este gráfico, que son debidos a la técnica de integración que exige la Norma NLT, la cual conduce a una curva de coeficiente de Viágrafo que es discontinua³.

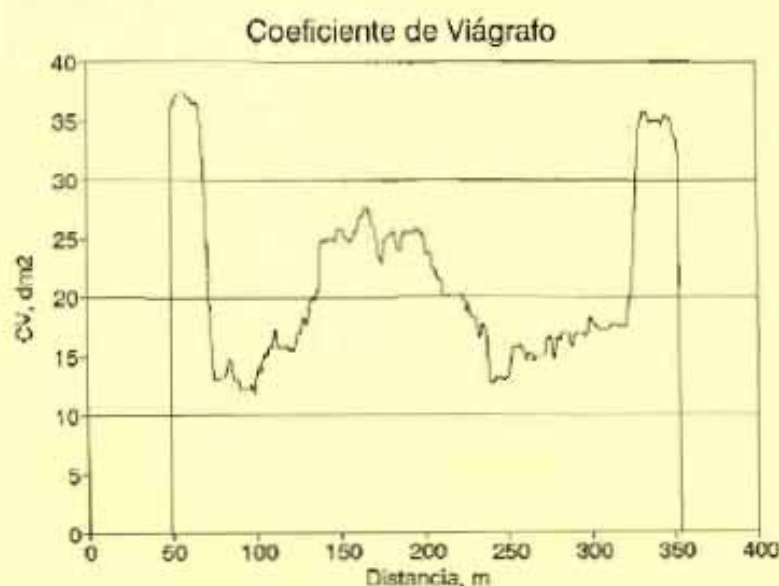


Figura 6

cial para evaluar la comodidad que experimentan los usuarios^{3,4,5}.

La normativa española exige en estos momentos que las evaluaciones con coeficiente de Viágrafo e IRI se efectúen por tramos consecutivos de 100 m, y que en esos tramos los valores obtenidos no excedan unos umbrales establecidos. Así mismo con la Regla de Tres Metros la normativa exige que el desnivel se mida en todos los puntos del tramo y que en ninguno de ellos sea superior a unos valores determinados.

6.2. Sistema propuesto.

Estos criterios de evaluación, aunque correctos, presentan una serie de inconvenientes. El hecho de que la longitud de evaluación de los tramos en

comprendidos entre 50 y 150 m, y 150 y 250 m, los valores obtenidos hubiesen sido, aproximadamente, de 2 m/km en cada uno de ellos. Claramente la zona intermedia de 100 a 200 m habría quedado camuflada entre las dos colindantes dándose por aceptable el tramo completo.

Para evitar estos problemas parece más lógico realizar una evaluación móvil del coeficiente de Viágrafo o del IRI en cada uno de los tramos de 100 m que permita la longitud de la zona a evaluar. En el ejemplo anterior, si las medidas del perfil se hubieran realizado con una frecuencia de 1 m (por simplificar) se obtendría un IRI para cada uno de los tramos de 0-100, 1-101, 2-

“**E**l fin de esta gestión es determinar el estado actual de las carreteras, predecir su evolución futura, definir las alternativas de conservación y/o rehabilitación más convenientes y establecer los presupuestos necesarios para dichos trabajos.”

Con la Regla Rodante de Tres Metros sí se realiza tradicionalmente una evaluación continuada de la regularidad superficial. En cambio, parece excesivamente estricto el criterio de aceptación que imponen los Pliegos Españoles, en donde no se permite que en ningún punto el desnivel medido con la Regla de Tres Metros exceda unos umbrales determinados.

Si se disponen de evaluaciones continuas o móviles de la regularidad superficial, como ocurre con la Regla de Tres Metros o como se está sugiriendo para el coeficiente de Viágrafo o el IRI, parece más razonable establecer unos criterios de aceptación estadísticos. Supóngase que tanto para la Regla de Tres Metros como para el Viágrafo o para el IRI se establezcan tres umbrales A, B y C (en m/km para el IRI, en dm² para el CV y en mm para el desnivel con Regla de Tres Metros). Un criterio de aceptación más razonable estaría basado en exigir que la longitud de tramo con valores del indicador en cuestión inferiores a los umbrales A, B y C, fuese superior a unos porcentajes X, Y y Z.

Supóngase, por ejemplo, que para el IRI se especifican los siguientes umbrales para las capas de rodadura: A = 1.5 m/km, B = 2.0 m/km, C = 2.5 m/km. Se exigiría que la longitud de tramo con IRI inferior a 1.5 m/km fuese mayor del 50%, con IRI < 2 m/km, fuese superior al 80% y con

IRI	
Umbral	%
< 1.5	> 50
< 2.0	> 80
< 2.5	100

IRI < 2.5 fuese el 100%.

Con este criterio se conseguiría que en ningún punto se sobrepasase un IRI de 2.5 m/km, se conseguiría un IRI medio que, en el peor de los casos, sería inferior a 1.85 m/km y a la vez se ofrecería unos ciertos márgenes de flexibilidad al contratista de la obra. Ejemplos similares se podrían emplear con el coeficiente de Viágrafo o con la Regla de Tres Metros.

Obviamente los umbrales mencionados anteriormente son a título de ejemplo y correspondería, como se ha comentado anteriormente, a la Administración o, mejor, a un grupo de evaluadores el definirlos.

7. Control de la red.

El control sistemático de la regularidad superficial tiene que estar englobado dentro del marco de la Gestión de Carreteras. El fin de esta gestión es determinar el estado actual de las carreteras, predecir su evolución futura, definir las alternativas de conservación y/o rehabilitación más convenientes y establecer los presupuestos necesarios para dichos trabajos.

Dada la gran importancia que representa la regularidad superficial en la funcionalidad de una carretera, su evaluación debería ser actividad prioritaria y efectuarse con periodicidades cortas. Además y teniendo en cuenta que la evaluación de la regularidad superficial con el tiempo, es reflejo, en gran parte, de la capacidad estructural del firme; sería interesante que en carreteras de nueva construcción las campañas de auscultación se realizaran más frecuentemente en los primeros años que en los sucesivos. Por ejemplo, si se realizaran campañas el año de puesta en obra y el siguiente, y cada dos años posteriormente, se conocería como evoluciona la regularidad superficial, desde los primeros años y se podrían determinar posibles zonas conflictivas con anterioridad a que se presentasen grandes deterioros y la carretera perdiese su funcionalidad.

El gran número de kilómetros que es necesario evaluar hace recomendable el uso de equipos de alto rendimiento, como el APL, RST u otros, que además no entorpecen el tráfico rodado. El indicador de la regularidad superficial más recomendable en la actualidad es el IRI aunque, en un futuro, técnicas basadas en análisis espectrales del perfil longitudinal o aun mejor del perfil de pendientes, podrían sustituir a este último.

Los criterios de evaluación y los umbrales de aceptación de carreteras



existentes deben, con toda lógica, ser más benévolos que los empleados para la recepción de carreteras de nueva construcción. La valoración de los tramos debe ser, por un lado global a utilizar a nivel de red en un Sistema de Gestión de Firmes, para definir en general aquellos tramos que prioritariamente necesitan trabajos de conservación, pero también debería ser detallada para ser utilizada a nivel de proyecto para definir las actuaciones necesarias, en los tramos concretos que requieran labores de mantenimiento y rehabilitación.

Con estos fines, criterios de valoración similares a los expuestos en el apartado anterior de control de recepción de carreteras nuevas son adecuados. Con los valores de la "regularidad





Viagrafo

en continuo" es posible obtener valores medios en todos los tramos de la red para facilitar las decisiones a nivel de red, y además, en el análisis de proyectos de conservación y rehabilitación, sirven para definir aquellas zonas que necesiten trabajos específicos de regularización superficial o que han experimentado excesivas deformaciones y necesitan una rehabilitación estructural.

8. Conclusiones.

La regularidad superficial es uno de los factores más determinantes del estado funcional de una carretera. Siendo las carreteras patrimonio de los ciudadanos de una nación, parece razonable que los criterios de acep-

tación los imponga un grupo, bien informado, de personas representativas de los distintos grupos de usuarios.

Los métodos de evaluación de la regularidad superficial dependen de los objetivos de ésta:

- 1) Para el control de la construcción, un seguimiento sistemático diario de la ejecución de las distintas capas que componen el firme, es necesario si se quieren obtener regularidades superficiales aceptables en la capa de rodadura. Los equipos más adecuados para este control son aquellos más manejables como el Dipstick o la Regla de Tres Metros y en menor medida el Viagrafo, como se expuso en el apartado correspondiente.
- 2) Para la evaluación sistemática de la red de carreteras, los equipos perfilométricos de alto rendimiento que permiten evaluar grandes longitudes en poco tiempo y sin interferir con el tráfico, son los más adecuados.

Criterios de valoración de la regularidad superficial basados en evaluaciones móviles o continuas en vez de discretas y porcentajes de longitud de tramo que cumplen con unos umbrales establecidos, pueden ser una alternativa a los que se utilizan actualmente.

Para la recepción de obras de nueva construcción, un programa de bonificaciones y penalizaciones económicas basado en los resultados finales de la regularidad superficial, motivaría a los contratistas a esmerar, aún más, sus técnicas constructivas, a realizar ese control diario de la regularidad superficial y en definitiva, a construir carreteras de mejor calidad.

La Dirección General de Carreteras tiene normalizada la utilización de la Regla de Tres Metros y del Viagrafo de obtener la regularidad deseada. Actualmente recomienda además el uso del IRI para la evaluación de la regularidad de sus carreteras y ha prescrito, mediante Orden Circular,¹³ el valor límite del IRI a obtener en capas de rodadura de autovías. Las próximas medidas que se deberían tomar son, en el modesto entender de los autores, la adopción de métodos de evaluación de la regularidad en continuo, el establecimiento de criterios estadísticos de aceptación o rechazo en la recepción de obras, la normalización del coeficiente IRI en carreteras de menos tráfico que las autovías y la fijación de un sistema de bonificaciones y penalizaciones con el que incentivar la buena terminación de las obras.



“El indicador de la regularidad superficial más recomendable en la actualidad es el IRI aunque, en un futuro, técnicas basadas en análisis espectrales del perfil longitudinal o aún mejor del perfil de pendientes, podrían sustituir a este último.”

9. Referencias.

- 1 AIPCR/PIARC (1987). "Rapport du Comité des Caractéristiques de Surface", XVIII^e Congrès Mondial de la Route, Bruselas, Bélgica.
- 2 AIPCR/PIARC (1988). "Road Evenness Measurement. Evolution of Road Evenness Measurement". ROUTES/ROADS, N° 265, París, Francia.
- 3 OECD (1984). "Road Surface Characteristics: Their Interaction and Their Optimization". Road Transport Research, OECD, París, Francia.
- 4 Norma NLT-334/85 (1985). "Medida de la Regularidad Superficial de un Firme con Regla Rodante de Tres Metros". CEDEX, MOPT, Madrid.
- 5 Norma NLT-332/87 (1987). "Medida de la Regularidad Superficial de un Firme mediante el equipo Viagrafo". CEDEX, MOPT, Madrid.
- 6 Sánchez Salinero, I. y Alvarez Loranca, R. (1989). "El Control de la Regularidad Superficial de Carreteras con la Regla de Tres Metros". XVII Semana de la Carretera, Oviedo.
- 7 Crespo del Río, R. y Sánchez Salinero, I. (1990). "Evaluaciones de la Regularidad Superficial con Regla de Tres Metros Viagrafo e IRI". Ingeniería Civil, Número 74, CEDEX, MOPT, Madrid.
- 8 Lucas, J. et Viano, A. (1979). "Mesure Systématique de l'Um sur le Réseau Routier. L'APL à Grand Rendement-Version 1978". Bull. Liaison Lab. P. et Chaussées, 101, París, Francia.
- 9 Arnberb, P. W. (1983). "The Laser Road Surface Tester". VTI Report 255A, Linköping, Suecia.
- 10 Crespo del Río, R. y Pou Usallán, S. (1989). "Medida de la Regularidad Superficial. El Indicador IRI y el Equipo DIPSTICK". Ingeniería Civil, Número 72, CEDEX, MOPT, Madrid.
- 11 Sayers, M. W., Gillespie, T. D. and Peterson, W. D. O. (1985). "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper Number 46, The World Bank, Washington, D.C., E.E.UU.
- 12 AIPCR/PIARC (1991). "Standard Reference Road Surfaces". Comité Internacional de Características Superficiales, ROUTES/ROADS, París, Francia.
- 13 Dirección General de Carreteras. (1989). "Orden Circular 307/89CyE sobre Recepción Definitiva de Obras". MOPT, Madrid.