

JORNADAS SOBRE LA CALIDAD EN EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

BARCELONA 19 de Mayo 1999

CALIDAD ANTE LA RODADURA

Ramón Crespo del Río

AEPO Ingenieros Consultores

1. INTRODUCCIÓN

El firme constituye una de las partes más importantes de la ingeniería de carreteras tanto desde el punto de vista técnico, en el proyecto, construcción y conservación, como económico y también desde el punto de vista general de valoración de los usuarios que mayoritariamente califican a la carretera por el estado del firme.

Es habitual distinguir dos aspectos en la calidad del firme:

- **CALIDAD ESTRUCTURAL**
- **CALIDAD FUNCIONAL**

La **calidad estructural** como su propio nombre indica se refiere a la capacidad de la del firme, considerado como una "estructura", de soportar las sollicitaciones durante la vida de proyecto sin necesidad de llevar a cabo medidas de rehabilitación estructural y de ella se habla en otra ponencia de estas jornadas sobre la calidad.

La **calidad funcional** afecta a las características superficiales del pavimento, que es la parte del firme que está en contacto con los vehículos y que se conoce también con el nombre de capa de rodadura y sobre cuya calidad se va a hablar en esta ponencia.

2. LA SUPERFICIE DE RODADURA

Personalmente prefiero diferenciar el "firme" del "pavimento", entendiendo por el primero el conjunto de capas (incluida la Explanada o "cimientto" del firme) que constituyen toda la

sección estructural, mientras que el pavimento es únicamente la capa superior cuya “cara vista” es una superficie que se denomina Rodadura. Por razones constructivas la rodadura tiene un espesor que puede ir desde apenas 5 milímetros hasta 5 o 6 centímetros; de la calidad de esa capa de rodadura entendida como material se habla también en otra ponencia, dedicándose ésta a examinar la calidad de las características de la superficie de rodadura.

3. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES

Desde el punto de vista general la rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con el neumático.

La declaración anterior se debe concretar en la definición de unas características de acuerdo con los objetivos a conseguir.

Las características del pavimento se clasifican por las dimensiones de las irregularidades superficiales. Para analizarlas se estudia su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) y además si las características son globales (corresponden a un tramo concreto) o localizadas (específicas de una zona más pequeña). Por ejemplo el tipo de pavimento de un tramo es un atributo global. La existencia de un blandón es un atributo local. Las características superficiales de un tramo recién construido son homogéneas y por lo tanto se trata de un atributo global, aunque con el uso del pavimento pueden aparecer defectos localizados que deben ser estudiados como atributos locales.

La determinación de si un atributo es global o local es importante en términos de su medida. Los atributos globales, por pequeños que sean, normalmente se pueden medir fiablemente usando procedimientos estadísticos aplicados sobre el área de análisis. Los atributos locales sólo se miden fácilmente si se extienden sobre una área relativamente grande. Los pequeños atributos localizados son los más difíciles de medir.

La geometría del pavimento afecta a la seguridad, comodidad y costes de los usuarios. Las características que se consideran importantes incluyen:

- **Regularidad superficial**

- **Fricción o Resistencia al deslizamiento**
- **Textura**

Además se debe recordar que la rodadura es una superficie no plana (es decir, que no está contenida en un plano) por lo tanto complicada de examinar. A efectos prácticos esta superficie se estudia analizando líneas perpendiculares y paralelas al eje de la carretera, es decir, estudiando el perfil transversal y el perfil longitudinal.

3.1 PERFIL TRANSVERSAL

Desde el punto de vista de la calidad en la construcción no es habitual estudiar el perfil transversal ya que sus características más importantes son el peralte y las roderas. Durante el proceso constructivo no es imaginable que se produzcan roderas por lo que no se considera necesario establecer especificación o criterio de calidad o de limitación del valor de roderas. Correspondiendo en todo caso al diseño de mezclas resistentes a las deformaciones plásticas o a las prácticas de conservación, para cuando las roderas como consecuencia del uso del firme puedan llegar a producirse.

Las roderas son una característica que se mide durante la conservación, ya que con el uso el tráfico va produciendo deformaciones del perfil transversal que deben mantenerse dentro de unos determinados valores. Con carácter informativo se muestra la siguiente tabla de valoración de la profundidad de roderas:

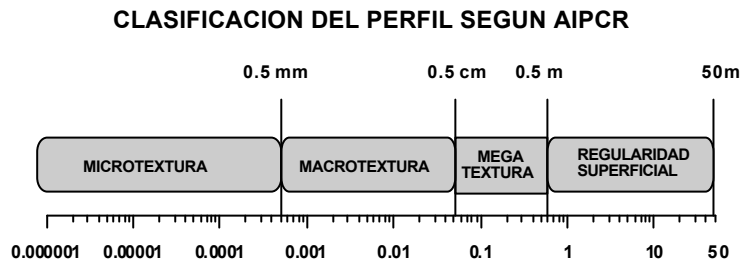
Roderas (mm)	CALIFICACIÓN
< 10	BUENO
10 - 15	ACEPTABLE
> 15	NO DESEABLE

3.2 PERFIL LONGITUDINAL.

El análisis de la calidad de rodadura se realiza principalmente mediante la medida e interpretación del perfil longitudinal. Para este propósito es conveniente comenzar clasificando el perfil de acuerdo a convenios internacionales. La Clasificación más conocida y aceptada del perfil es la establecida por la **AIPCR** que es la siguiente:

CLASIFICACIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL		
Dominio	Longitud de Onda, a	Amplitud, A
TRAZADO	50 - 1000 m	0,5 - 50 m
REGULARIDAD SUPERFICIAL	0,5 - 50 m	0.001 - 0,5 m
TEXTURA	0 - 0,5 m	0,001 - 50 mm

La Textura a su vez se clasificó en tres bandas según el gráfico adjunto



4. REGULARIDAD SUPERFICIAL

En Ingeniería de carreteras la calidad del pavimento se analiza determinando la Regularidad Superficial, materia que estudia la diferencia entre las cotas teóricas y las cotas reales del perfil longitudinal. Las diferencias (o irregularidades) se deben a dos causas: 1) el proceso constructivo y 2) el uso de la carretera. En ocasiones son una combinación de ambas. Así, por ejemplo, los rellenos de trasdós de las estructuras suelen producir irregularidades por asentamientos de la parte más flexible (el relleno detrás del estribo) que aparecen con el uso pero son debidas a un deficiente proceso constructivo.

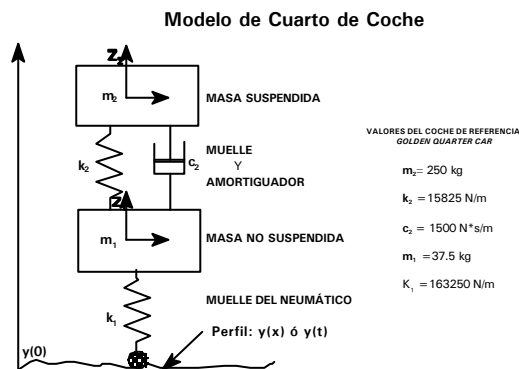
La Regularidad Superficial se define normalmente por un índice que se refiere a una determinada longitud de carretera. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil a un índice estadístico.

Tradicionalmente el equipo y método de medida del perfil más empleado ha sido una regla (normalmente rodante) de una determinada longitud (mayoritariamente tres metros) que

mediante un sistema gráfico determinaba las irregularidades del punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de comparación). En los pliegos de prescripciones se establecían unas “tolerancias de la superficie acabada”. Así en el “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG3 (Ministerio de Obras Públicas 1975) se indicaba en el artículo 542 (Mezclas Bituminosas en Caliente) lo siguiente: “La superficie acabada no presentará irregularidades de más de 5 milímetros en las capas de rodadura... cuando se compruebe con una regla e tres metros aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la zona pavimentada”. Mientras que el artículo 550 Pavimentos de Hormigón, indicaba “La superficie del pavimento no deberá presentar diferencias de más de 3 milímetros respecto a una regla de tres metros apoyada sobre la superficie en cualquier dirección”.

La medida de la Regularidad superficial con la regla de tres metros o con el Diagrafo modelo más evolucionado de regla rodante (más larga 9.31 metros y apoyada en 8 puntos, más uno central de medida) tiene limitaciones para el análisis del perfil longitudinal y ha sido paulatinamente sustituida por modelos más representativos de la percepción de los usuarios.

Actualmente el modelo más utilizado es el de un cuarto de coche normalizado (Golden Quarter Car) circulando a 80 km/h. El desplazamiento vertical de la masa superior respecto a la inferior acumulado en la longitud de referencia, se conoce con el nombre de **IRI** (International Roughness Index) o también Índice de Regularidad Internacional.



La medida se realiza con equipos que determinan la cota de una (o más) líneas del perfil longitudinal en la trayectoria que coincide con la rodada del vehículo de medida y sensiblemente con la trayectoria media de una de las rodadas de los vehículos. Normalmente la línea seguida por la rodada derecha.

A efectos prácticos de esta manera se reduce el análisis de una superficie (la calzada) al análisis de una línea que representa el perfil longitudinal. Se reduce el análisis bidimensional a un estudio unidimensional.

Esa "línea" continua es reproducida por los equipos de medida de forma discreta "tomando" una cota cada "x" distancia de avance. Los sensores actuales, tipo láser de gran frecuencia de muestreo, permiten una reproducción muy "seguida", casi continua, del perfil. Un sensor láser de los empleados para esta técnica tiene una frecuencia de muestreo de 16 ó 32 kHz, es decir, 16.000 ó 32.000 señales (datos) por segundo. Si se circula, por ejemplo a una velocidad de 72 km/h (20 m/s), en un segundo se recorren 20.000 milímetros y se adquieren 32.000 datos, lo que equivale a disponer de una cota cada 0.625 milímetros. Por razones de pérdidas por la relación señal/ruido y de la conversión analógica/digital, en la práctica los equipos pueden guardar un dato (una cota) cada 5 ó 10 centímetros. Es decir, un kilómetro de perfil se representa por 20.000 cotas, lo que para los propósitos de un análisis de red resulta excesivo. Una red de 50.000 kilómetros de carril ocuparía 1000 millones de registros cuyo manejo resultaría complicado y difícil de interpretar.

Es necesario por razones de orden práctico que las cotas cada 5 ó 10 cm se resuman estadísticamente en tramos de longitud que permitan una fácil interpretación de ingeniería. Los valores más usuales en el **SI** (Sistema Internacional) son el hectómetro (100 m) y el kilómetro (1.000 m). Así una red de 50.000 kilómetros se reduce a 500.000 (ó 50.000) registros, mucho mas cómodos de guardar, manejar e interpretar.

Sin embargo si el propósito del estudio no es analizar la red sino valorar un tramo y establecer sus características de terminación superficial, es decir, de la calidad de la rodadura, las longitudes de referencia pueden acortarse y resultar de interés la representación del perfil directamente o la interpretación en tramos de 20 ó 100 metros. A este respecto recordar que la normativa española establece el hectómetro como valor de referencia para el análisis.

El principio de medida de los equipos perfilométricos se basa en la medida de la distancia entre el sensor láser y el pavimento; el sensor va colocado sobre una barra (situada en la parte anterior o posterior del vehículo). Con el desplazamiento del vehículo la barra tiene un movimiento vertical que es necesario deducir para que el resultado sea exclusivamente la cota o variación de altura del perfil de la carretera. Esto se consigue con un sistema de

referencia inercial que permita conocer la distancia de la barra al pavimento en cada instante. El sistema utilizado se basa en los trabajos de Spangler y Kelley de los años 60 para la **GMC** (General Motors Company). Se dispone de un sensor que mide continuamente la distancia de la barra al suelo con un acelerómetro. El proceso continua integrando dos veces la señal de la aceleración vertical obtenida por el acelerómetro y de esa manera determinar la distancia entre un plano inercial (constante) de referencia y el sensor láser, como por otra parte se conoce la distancia del sensor láser al pavimento se puede determinar la variación de altura (cota) de la carretera en cada instante de medida. El sistema se completa con un odómetro que refiere la cota obtenida a la distancia horizontal recorrida. Se debe destacar que el “perfil” obtenido por el equipo de este tipo no es un perfil topográfico puro sino un perfil útil para los propósitos de analizar la Regularidad Superficial que corresponde por definición establecida por la AIPCR a la banda de 0.5 a 50 metros de longitud de onda.

Debe asumirse que la representación del perfil debe realizarse para la banda objeto de análisis. Esto se consigue filtrando el perfil. Operación que consiste en eliminar la parte que no interesa para el análisis.

Los estudios especiales, sobre todo aquellos que tratan de buscar nuevos significados de la regularidad superficial deben realizarse trabajando con todas las cotas disponibles, es decir, con la información en su estado básico.

Es sabido que el perfil está formado por una suma de infinitas ondas sinusoidales de diversas amplitudes.

Al ser el **IRI** un indicador de uso muy generalizado interesa destacar que es mucho “más sensible” a unas ondas que a otras (al igual que los vehículos reales). Más sensible significa que amplitudes iguales se perciben de forma diferente según la longitud de onda que se trate. Así por ejemplo un perfil constituido por una sola onda de dos metros de longitud y amplitud 1 milímetro tiene un valor de **IRI**, constante para múltiplos de la onda (es decir, para múltiplos de dos) de 3.07 mm/m, mientras que un perfil constituido por una onda de 10 metros y la misma amplitud (1 milímetro) sólo tiene un valor **IRI** de 0.50 mm/m y si la onda es de 50 metros sólo 0.01 mm/m de **IRI**. Esto también quiere decir que para alcanzar el valor $IRI = 3 \text{ mm/m}$ con una onda de 10 metros se precisa una amplitud de 6 milímetros ($6 \cdot 0.5 = 3 \text{ mm/m}$) y de 300 milímetros si la onda es de 50 metros.

Durante la construcción debido a la forma de ejecución y la geometría de las extendedoras las ondas que tienden a marcarse son las de 10 metros (si se trabajan con piquetes cada 10 metros), la de la longitud del patín, (si se trabaja con patín), y la de 2 ó 3 metros correspondiente a posibles paradas entre camiones (Un camión tipo “bañera” puede llevar del orden de 20 a 25 toneladas de mezcla lo que para un ancho de extendido de 7-8 metros y un espesor de 4-6 cm viene a significar una longitud de avance del extendido de 2 a 3 metros). Si el ciclo de camiones no está muy bien ajustado y dimensionado se produce una parada cada dos o tres metros de avance y una caída de la regla que se marca sobre el pavimento recién extendido produciendo una irregularidad en la geometría, precisamente en la zona de las ondas de 2 o 3 metros, es decir, en la zona de ondas que mayor **IRI** provocan. El algoritmo de calculo determina el valor del **IRI**, pero no indica nada sobre por que razón se produce ese valor de **IRI** no deseable o inaceptable.

Para averiguar como está representada cada onda en un perfil se puede aplicar la técnica conocida con el nombre de Análisis Espectral de Potencia o Estimación de la Densidad Espectral. Es muy habitual designar esta técnica con las siglas **PSD** de su acrónimo inglés **“Power Spectral Density”**.

Mediante la estimación de la **PSD** se determinan las amplitudes (en realidad el cuadrado de la amplitud) de las ondas representadas en el perfil que se analiza. Existe la norma **ISO 8608 :1995 Mechanical vibration -- Road surface profiles -- Reporting of measured data** que clasifica la calidad de la rodadura por los valores de su densidad espectral.

4.1 NORMATIVA ACTUAL DE REGULARIDAD SUPERFICIAL .

La especificación actual sobre Regularidad Superficial del Ministerio de Fomento para tramos de carretera de nueva construcción está recogida en la Orden Circular 308/89CyE sobre “Recepción definitiva de Obras” y en la Nota de Servicio complementaria de OC 308/89 en las que fijan criterios sobre regularidad superficial de la capa de rodadura y se exige su cumplimiento.

La tabla siguiente recoge dicha especificación para capas de rodadura:

CAPA DE RODADURA	% de longitud con IRI (100 m)		
	# 1.5 mm/m	# 2.0 mm/m	#2.5 mm/m
	50	80	100

Recientemente (Oporto, Marzo 1999) Portugal ha presentado su especificación para nueva construcción que es la siguiente:

TIPO DE RODADURA	% de longitud con IRI (100 m)			
	# 1.5 mm/m	# 2.0 mm/m	#2.5 mm/m	#3.0 mm/m
BITUMINOSA	50	-	80	100
HORMIGÓN		50	75	90

Como se observa la normativa portuguesa tiene la misma estructura que la española pero además de diferenciar entre pavimentos bituminosos y de hormigón es menos exigente que la española. Es decir, el nivel de calidad de la rodadura será menor en las carreteras portuguesas que en las españolas.

Si se asume para la serie de valores de IRI una distribución normal y se calcula para la especificación española su valor medio y su desviación típica se obtiene

ESPECIFICACIÓN	IRI MEDIO	F
	(m/km)	(m/km)
	1.85	0.39

Si se comparan estos valores con valores alcanzados en mediciones realizadas en Carreteras Nacionales, Autovías y Autopistas de Peaje se pueden realizar comentarios sobre la calidad de la rodadura medida a través del IRI.

SERIE HISTÓRICA DE REFERENCIA

TIPO DE VÍA	IRI MEDIO (m/km)	F (m/km)	FECHA	CALIFICACIÓN
CARRETERA NACIONAL	1,67	0,68	1995	MALA
AUTOVÍA	1,79	0,61	1994	MALA
AUTOPISTA DE PEAJE	1,37	0,54	1994	REGULAR
AUTOVÍA	1,49	0,51	1994	REGULAR
AUTOPISTA DE PEAJE	1,49	0,5	1995	BUENA
CARRETERA NACIONAL	1,57	0,38	1995	BUENA
NACIONAL	1,06	0,29	1995	EXCELENTE
VARIANTE AUTOVÍA	0,99	0,24	1996	EXCELENTE
AUTOPISTA DE PEAJE	1,28	0,19	1996	EXCELENTE
ESPECIFICACIÓN	1,85	0,39	1991	

TRAMOS DE RECEPCIÓN DE OBRA

TIPO DE VÍA	IRI MEDIO (m/km)	F (m/km)	FECHA	LONGITUD
CARRETERA	1,05	0,22	1998	5,0
CARRETERA	1,27	0,31	1998	22,0
AUTOVÍA	0,67	0,12	1998	16,0
AUTOVÍA	0,95	0,35	1998	7,0
AUTOVÍA	0,88	0,14	1998	4,5
AUTOVÍA	0,96	0,36	1998	23,0

La observación de las tablas anteriores suscita comentarios, tanto sobre valores de IRI que se pueden alcanzar con una buena ejecución como sobre el significado de la desviación típica en el análisis de la calidad de la rodadura. Interesa destacar que tan importante es

conseguir un valor medio adecuado como lograr que las dispersiones de los valores estén acotados por un valor pequeño de la desviación respecto a la media.

Lo anterior ha llevado a que figuren en algunos pliegos (en particular de concesiones de tramos de autopistas con el sistema del peaje en la sombra) una especificación del tipo siguiente:

PROPUESTA:

TIPO DE VÍA	IRI MEDIO (m/km)	F (m/km)	MEDIA + 2F
CONSTRUCCIÓN	#1.25	# 0.25	
CONSERVACIÓN			# 2.0

PUNTOS SINGULARES: NO SE ADMITIRÁ NINGÚN PUNTO SINGULAR DEFINIDO EN 20 METROS CON IRI SUPERIOR 3.0 m/km.

La redacción final del Pliego modifica ligeramente la propuesta anterior quedando redactado de la siguiente forma:

“Se utilizará el Índice de Regularidad Internacional (IRI). Para ello se dividirá cada tramo en subtramos de 1.000 metros de longitud por sentido y se tomarán mediciones cada 20 metros en cada uno de ellos. Los resultados para cada subtramo deberán ser los que a continuación se indican:

IRI Medio de 50 mediciones # 1.25 m/km

Desviación típica de la muestra de 50 mediciones # 0.25 m/km

Valor máximo de una medición # 3 m/km”

Se trata de una especificación bastante más exigente que la del Ministerio de Fomento, pero que como se ha visto se ha conseguido en varios tramos de carreteras, a los que sin duda el usuario va calificar de excelente calidad de rodadura.

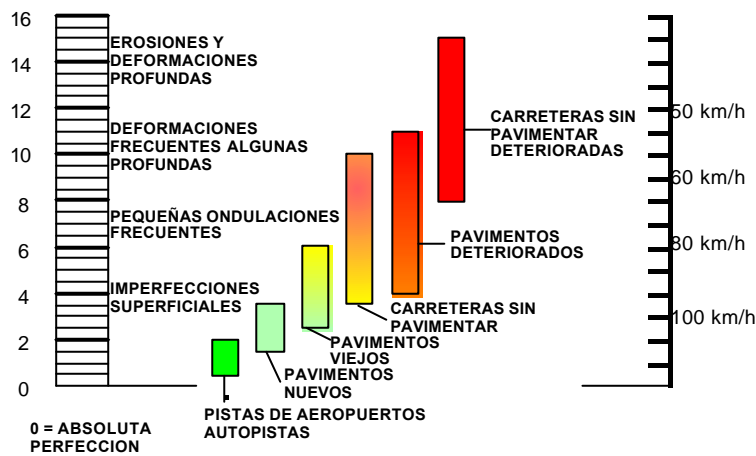
A modo de ilustración de los valores de IRI de la red de carreteras del Estado se recoge en la tabla siguiente los valores medios de 6 provincias, a saber la de IRI más bajo, las cuatro provincias catalanas y la de IRI más elevado sin citar ninguna por su nombre.

CLASIFICACIÓN DE VALORES DE IRI POR PROVINCIAS

PROVINCIA	IRI (m/km) (Valor medio)
PM	1,46
C1	2,02
C2	2,02
C3	2,23
C4	2,45
PU	3,16

Finalmente se incluye la escala de valores de IRI establecida en su día por el Banco Mundial:

ESCALA DE IRI (m/km)



5. TEXTURA

La **textura** del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La **textura** influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran

importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

5.1 DEFINICIONES DE TEXTURA

Como consecuencia del *Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento* se consolidaron internacionalmente una serie de definiciones que afectan a la textura. Por su interés y actualidad se reproducen a continuación.

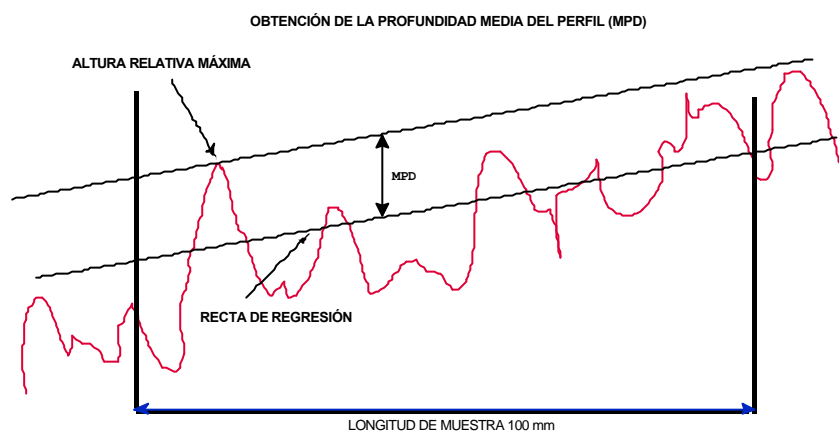
Durante el Congreso Mundial de la **AIPCR** celebrado en Bruselas en 1987 se definieron tres bandas de textura: **microtextura**, **macrotextura** y **megatextura**. Su definición fue establecida por un grupo trabajo de la ISO a partir de la propuesta inicial de la **AIPCR**. Igualmente se establecen definiciones para las distintas formas de evaluar la textura. Estas definiciones también figuran en la norma ISO/13473 y son las siguientes:

- **Amplitud y longitud de la onda de textura:** El perfil del pavimento se describe por el desplazamiento a lo largo de su superficie y por el desplazamiento en dirección normal a ella. Aquí se llama **distancia** al primero y **amplitud** al segundo. La distancia puede medirse en sentido longitudinal o transversal respecto a la dirección de la marcha, o en cualquier inclinación intermedia. Se define la longitud de onda de textura como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.
- **Macrotextura:** La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático.

- **Microtextura:** La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.
- **Megatextura:** La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).
- **Profundidad de textura:** En un análisis tridimensional, el término profundidad de textura (TD) es, para un área similar a la de contacto con el neumático, la distancia media entre la superficie del pavimento y un plano que pase por los tres vértices más altos y "claramente espaciados" de dicha superficie.
- **Método volumétrico:** El método de ensayo conocido con el nombre de **círculo ó mancha de arena** se viene empleando desde hace muchos años en la medida de textura de pavimentos. Se realiza esparciendo un volumen conocido de arena sobre el pavimento en forma de círculo y midiendo su diámetro. Dividiendo el volumen de arena entre la superficie del círculo, se obtiene la profundidad media de arena equivalente a la **profundidad media de textura**. En los últimos años la arena ha sido sustituida por microesferas de vidrio. En vista de que realmente se trata de un método basado en la medida de un volumen de material, el nombre apropiado es el de "método volumétrico".
- **Profundidad media de textura:** En la aplicación del "método volumétrico", el "plano" se determina en la práctica por el contacto entre una zapata de caucho y la superficie con la que roza. Por tanto, la superficie de referencia que se obtiene no es exactamente un "plano", sino una superficie curva difícil de definir. La profundidad de textura que se

obtiene con el método volumétrico se denomina profundidad media de textura **MTD (Mean Texture Depth)** valor semejante al expresado en España en la NLT-335/87 "Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena".

- **Profundidad media del perfil:** En el caso bidimensional, es decir, en el estudio de una línea del perfil, el término profundidad media del perfil **MPD (Mean Profile Depth)** es la diferencia (en una distancia del mismo orden de magnitud que el contacto pavimento-neumático) entre la recta de regresión de los puntos del perfil y una paralela trazada por su punto más alto. (ver figura).



En el experimento intervinieron prácticamente todas las técnicas conocidas hoy en día. Comprobándose que la mayoría de los perfilómetros que participaron eran capaces de medir la **macrotextura y la megatextura**. Estas medidas se suplementaron, en lo que a la macrotextura se refiere, con el método volumétrico o círculo de arena.

La macrotextura de la superficie del pavimento es un factor que influye de manera significativa en la fricción entre rueda y pavimento, en la emisión de ruido de la interfaz rueda-pavimento y en la pulverización de agua del tráfico en pavimentos húmedos.

Durante muchos años se ha descrito la textura de la superficie a partir del resultado del método del círculo de arena. El resultado del círculo de arena se obtiene depositando una determinada cantidad de arena sobre el pavimento y dividiendo el volumen (predeterminado) entre el área de pavimento (medida) cubierta por la arena; el valor que representa la profundidad media de arena se define como la macrotextura.

La norma ISO 13473 describe cómo determinar la Profundidad de Medida de Perfil (MPD) como la profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento con la medición de una curva de perfil. La definición de macrotextura que da la norma ISO es la siguiente:

“Macrotextura: La desviación de la superficie de un pavimento de una superficie totalmente plana con dimensiones características a lo largo de la superficie de 0.5 mm a 50 mm (correspondientes a longitudes de onda de textura con bandas de tres octavos incluyendo variación de 0.5 mm a 50 mm de longitudes de onda centrales)”.

Además de la definición de macrotextura, la ISO 13473 explica detalladamente el procedimiento de medición y tratamiento de datos. El filtrado de paso alto debería eliminar longitudes de onda mayores de 100 mm y el filtrado de paso bajo aquellas por debajo de 2.5 mm.

Los resultados tratados a partir de medición de macrotextura se calculan para intervalos de longitud de onda de 2.5 - 100 mm y 0.5 - 5 mm.

La textura de los pavimentos es una de las características del pavimento que permite su identificación.

La textura es una cualidad conferida por el proyectista al decidir el tipo de capa de rodadura a construir, aunque en muchas ocasiones el proyecto no llega a realizar una especificación expresa del valor de textura a conseguir.

El funcionamiento del pavimento está ligado en muchos aspectos a sus características de textura. La capacidad de suministrar un buen nivel de adherencia con los neumáticos de los vehículos y de evacuar el agua de la interfase neumático/pavimento es misión de la textura.

5.2 HIDROPLANE O AQUAPLANING

El hidropelaje se puede considerar como una de las características de las carreteras que más pueden llegar a afectar a los usuarios. El hidropelaje (o aquaplaning) está esencialmente asociado a la macrotextura del pavimento. Ocurre cuando una película de agua separa la rueda de la superficie de la carretera. Este fenómeno depende de la velocidad y peso

del vehículo, de las características y estado de los neumáticos, de la macrotextura y del espesor de agua en el pavimento. Aunque son muchas las variables que intervienen, la fundamental es la presencia de agua en el pavimento con una profundidad crítica. Por tanto, el potencial de riesgo de una sección de carretera al hidropilano viene determinado por la existencia de profundidades críticas que suelen ocurrir durante inundaciones y lluvia intensas repentinas.

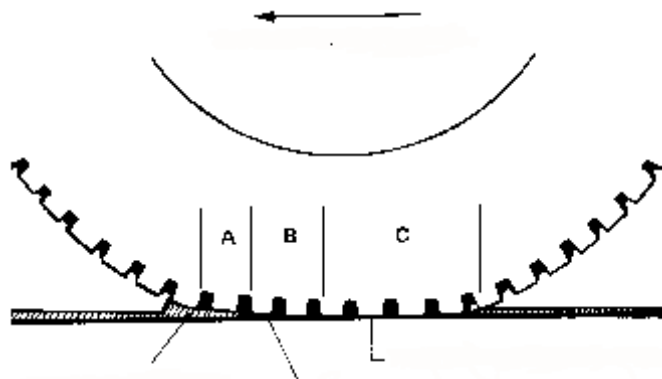


El riesgo de hidropilano de cada tramo de carretera se determina estudiando la topografía del pavimento: su geometría (radio y pendiente), el peralte y **la macrotextura** que determinan la capacidad del mismo para evacuar el agua. El espesor de película de agua sobre el pavimento es función directa de la cantidad de agua, de la intensidad y duración de la precipitación (lluvia torrencial repentina) e inversa de la capacidad de drenaje del pavimento. La capacidad de evacuación de un pavimento se reparte entre: el drenaje por infiltración (drenaje a través del pavimento) y el drenaje por escorrentía (agua que escurre longitudinal y transversalmente hacia el arcén). En casi todos los tipos de pavimento el agua infiltrada es mínima, excepto en los diseñados específicamente para infiltraciones elevadas (mezclas porosas). El drenaje por infiltración depende de la **macrotextura** del pavimento (valor que también afecta al drenaje de escorrentía), de las pendientes longitudinal y transversal y de las depresiones de la superficie que forman valles que disminuyen o impiden el drenaje normal (como es el caso de las **roderas**).

El hidropilano es la separación entre el neumático y el pavimento producida por la presión del agua existente debajo de la rueda. El tanto por ciento de hidropilano viene dado por la relación:

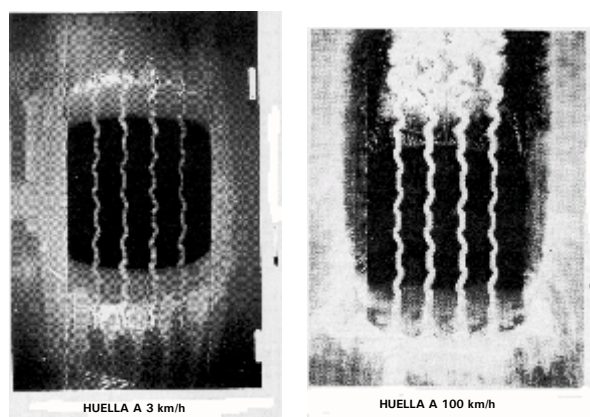
$$\% \text{hidropilano} = \frac{\text{área dinámica de la huella}}{\text{área estática de la huella}}$$

La figura siguiente representa las tres zonas que se crean entre el neumático y pavimento en presencia de agua. La Zona A representa la zona frontal del contacto en el sentido de avance es la zona donde la presión hidrodinámica es lo suficientemente elevada para conseguir la separación completa del neumático y el pavimento. La zona B representa la parte del neumático donde la tensión del agua se ha disipado pero donde todavía existe una pequeña película de agua que separa parcialmente el neumático de la superficie del pavimento. En la zona C la barrera de agua ha sido atravesada y se desarrollan plenamente las fuerzas de rozamiento. En situación de hidroplaneo total toda la superficie es de tipo A.



Estudios americanos indican que la altura de agua encontrada en carreteras bien drenadas son generalmente inferiores a 1 milímetro. Películas de agua entre 1 y 2 milímetros pueden ocasionarse en los cinco primeros minutos de lluvias intensas. Profundidades entre 2 y 4 milímetros suceden en precipitaciones de tipo tormentoso torrencial. Aunque en este tipo de lluvias se reduce mucho la velocidad por razones de visibilidad. Teniendo en cuenta lo anterior los estudios de hidroplaneo se realizan para películas de agua de 2 milímetros.

Las dos fotos siguientes muestran la huella de un neumático a sobre una película de agua de 2 milímetros, circulando a 3 kilómetros por hora y a 100 kilómetros por hora.



5.3 MEDIDA DE LA TEXTURA DE LOS PAVIMENTOS

La forma más antigua y conocida de valorar la textura de un pavimento ha sido, y aun sigue siendo, con el Ensayo de la Mancha o Círculo de Arena. Técnicamente se debe decir que el ensayo determina la macrotextura.

Se trata de un ensayo puntual que determina la profundidad (en milímetros de la textura) valorada como cociente entre el volumen conocido de una arena muy fina y homogénea, de grano con diámetro comprendido entre 0.17 y 0.25 milímetros (como valor medio se adopta 0.2 mm), que se extiende en el pavimento en una área sensiblemente circular, cuyo radio se mide. El cociente entre el volumen conocido y el área del círculo (medida) determina la altura o profundidad de la macrotextura del pavimento. A ese valor generalmente comprendido en una banda que va de 0.3-0.4mm a 2-3 mm se le llama altura de la mancha de arena, (actualmente y según la definición anterior se debe designar por las siglas MTD) que define la profundidad de la textura del pavimento.

El valor está muy ligado al tipo de pavimento que se construya. Así por ejemplo los tratamientos superficiales y los pavimentos de hormigón presentan valores de textura mayores que las mezclas bituminosas, y para éstas, el tipo de mezcla y el tamaño máximo del árido empleado definen una banda de valores de textura bastante amplia.

El ensayo es útil para valores de textura superiores a 0.25 mm y se debe llevar a cabo con el pavimento seco y limpio, y en días sin viento.

Cuando se trata de determinar el nivel de cumplimiento de la especificación de textura de un pavimento nuevo, el ensayo se debe realizar antes de la apertura al tráfico.

El ensayo está normalizado en la mayoría de los países y es uno de los pocos que se aplican tanto en el continente europeo como en los Estados Unidos de América (USA). En España se describe en em la Norma *NLT-335/87*

En cualquier caso se trata de un ensayo lento que requiere dos personas y cortar el tráfico si se realiza en carretera abierta. También es difícil garantizar la homogeneidad de la arena que se utiliza lo que puede producir errores de apreciación del valor de textura.

La tabla siguiente presenta una orientación de las características de textura de diferentes tipos genéricos de pavimentos.

TIPO DE PAVIMENTO	CARACTERÍSTICA
PAVIMENTO DE HORMIGÓN	GENERALMENTE DE TEXTURA ELEVADA. RUIDOSOS.
TRATAMIENTO SUPERFICIAL	ELEVADA TEXTURA. RUIDOSOS
LECHADA BITUMINOSA	LA TEXTURA ES GRADUABLE SEGÚN TIPO DE LECHADA
MEZCLAS BITUMINOSAS	TEXTURA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO EMPLEADO Y DEL TIPO DE MEZCLA. DE MAYOR A MENOR G25 - G20 - S25 -S20 - G12 - D20 - S12 - D12
MEZCLAS POROSAS	ELEVADA TEXTURA NEGATIVA. SILENCIOSA.
NUEVOS PAVIMENTOS: MICROS-SMA, etc	TEXTURA VARIABLE Y GRADUABLE

5.4 ESPECIFICACIONES DE TEXTURA

Leyendo el PG3/75, la única unidad de obra para la que se especifican valores de textura es en el artículo 550 Pavimentos de Hormigón donde se dice: *“Al día siguiente del hormigonado se determinará la profundidad de la textura por el método del círculo de arena, al menos en 10 puntos aleatoriamente elegidos, debiendo obtenerse una profundidad media no inferior a 1 milímetro y una profundidad mínima en cualquier ensayo de 0.60 milímetros, valores mínimos que podrán ser aumentados por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares”*. Sin embargo en la revisión de realizada del artículo 550 Pavimentos de Hormigón llevada a cabo por medio de la O.C. 311/90CyE se encomienda al proyectista el establecimiento del valor de la textura, indicándose en el apartado 550.9.4.2 Textura superficial que *“ninguno de los resultados individuales podrá ser inferior a 0.50 mm”*.

En la revisión del artículo 542 “Mezclas Bituminosas en Caliente” (O.C. 299/89T) se indica *“Únicamente a efectos de recepción de capas de rodadura, la textura superficial según la Norma NLT-335/87 (Círculo de Arena) no deberá ser inferior a 0.7 milímetros”*.

Asimismo en la O.C.297/88 que revisa (entre otras) la unidad 540 Tratamientos Superficiales con lechadas bituminosas se indican en la tabla 540.3P los siguientes valores de Textura Superficial mínima:

TIPO DE LECHADA	LB1	LB2	LB3	LB4
TEXTURA (mm)	11	9	7	5

5.5 TENDENCIA ACTUAL EN LA MEDIDA DE LA MACROTEXTURA

La macrotextura es un atributo global del pavimento por lo que interesa su determinación de manera continua y no con ensayos puntuales lentos y costosos. Por ello los equipos de auscultación de tipo perfilométrico disponen de formas de medir la textura y el mayor problema que se suscita es la correspondencia con el valor **MTD** (mancha de arena) que es el más conocido y de más fácil interpretación por los ingenieros. El valor que obtienen es conveniente convertirlo, mediante estudios generales o particulares de correlación, al valor **MTD**. El *“Experimento Internacional de Comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento”* (1995) permitió a los equipos participantes obtener correlaciones entre el parámetro obtenido por el equipo y la **MTD**.

Las limitaciones del ensayo de la mancha de arena (realizada con grasa en pavimentos de aeropuertos) y la evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo (hasta 64 kHz) y rayo muy fino (< de 0.5 mm) han originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura.

Los ensayos con equipos de este tipo permiten obtener un perfil muy preciso y “fino” del pavimento que se debe analizar con criterios estadísticos lo que ha permitido definir nuevos índices de medida y valoración de la textura.

Los equipos deben obtener información fiable y precisa sobre el estado del pavimento. Para asegurar las medidas de cada característica que varía con la distancia, hay que recoger y tratar los datos recogidos. Para cada característica se usan distintos tipos de datos que se resumen en indicadores que se interpretan de manera diferente. A este respecto el citado Experimento Internacional constituyó un importante evento para consolidar definiciones y criterios de medida de la textura.

Además recientemente se ha aprobado la norma *ISO/CD13473/97 Characterization of pavement texture by use of surface profiles -- Part 1: Determination of Mean Profile Depth* donde se define la textura por medio de un índice denominado Profundidad Media del Perfil. MPD (Mean Profile Depth). Existe buena correlación entre el valor MPD y el valor de mancha de arena MTD. (Mean Texture Depth).

Otra forma de determinar el valor de textura, empleada por diferentes equipos, es la RMS (media cuadrática) de las amplitudes del perfil filtrado en determinadas bandas de longitudes de onda. También existe buena correlación entre la RMS de la macrotextura y la MTD (o mancha de arena).

El interés de trabajar con la media cuadrática RMS en lugar de la media aritmética se ve muy claro si se compara el valor de ambas para ondas sinusoidales. Por ejemplo un seno de 3 m de longitud de onda y 2 milímetros de amplitud y otro de 2 metros y 0.5 mm tienen la misma media aritmética, cero, sin embargo su RMS es muy diferente, 1.33 mm y 0.33mm respectivamente. Trabajar con la media cuadrática elimina el problema de la media aritmética de valor cero.

5.6. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE REUNIR LA TEXTURA

Desde un punto de vista global la textura debe reunir las siguientes características.

Debe ser homogénea tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal al sentido de avance de los vehículos.

Cuanto mayor sea el valor de la microtextura mayor y mejor adherencia entre el neumático y la superficie. Por el contrario se produce un mayor desgaste de los neumáticos.

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura mejor capacidad de evacuación de agua en la interfase neumático pavimento, por contra las texturas elevadas suelen ser más ruidosas. Se trata de una disfunción entre una característica deseada (la elevada capacidad de drenaje) y una característica añadida (el mayor nivel de ruido) para conseguir aquella. Este efecto contrario se está tratando de compensar con mezclas de granulometría discontinua, principalmente las mezclas porosas cuyo elevado contenido de huecos junto con su elevada

macrotextura negativa, permite una rodadura sin formación de película de agua en la superficie y además muy silenciosa, porque el sonido puede “salir” hacia abajo. Por el contrario los inconvenientes están motivados por el coste, la duración y la dificultad de mantenimiento y de rehabilitación de este tipo de capas.

En resumen la textura debe ser:

- Elevada para permitir la evacuación del agua en la interfaz neumático/pavimento.
- Debe ser pequeña para proporcionar un menor nivel de ruido.
- Debe ser homogénea para ofrecer en toda la superficie la misma capacidad de evacuación.

5.7. EVOLUCIÓN DE LA MACROTEXTURA CON EL TIEMPO

Cada tipo de pavimento tiene un valor natural de textura. El valor natural corresponde al pavimento recién ejecutado y está asociado con el tipo de capa que se trate, con el tamaño de los áridos empleados y con el procedimiento de fabricación y extendido.

Con el tiempo a consecuencia del desgaste del pavimento por los vehículos la textura va modificando su valor inicial de la siguiente forma.

Transversalmente al sentido de avance la textura en la zona de rodada y en el centro del carril se van diferenciando. Mientras en el centro del carril apenas se modifica el valor inicial, en la zona de rodada va disminuyendo. La magnitud de la diferencia (a veces muy significativa) es un índice de la edad del pavimento y/o de su comportamiento. Por ejemplo, se ha observado que los pavimentos de corta edad (2-3 años) que presenten diferencias acusadas entre el valor de textura obtenida en el centro del carril y en la zona de rodadas, tienen a corto plazo un deterioro importante, mayor de lo habitual y probablemente también es una señal de fisuración próxima (prefisuración).

Longitudinalmente la velocidad evolución de la textura es función del valor inicial (valores iniciales pequeños disminuyen más despacio que valores iniciales más elevados). Con el paso del tiempo tanto las texturas bajas (0.3 - 0.7 mm) como las elevadas (0.7-2.0

mm) decrecen hasta un valor mínimo (que corresponde al momento de máximo desgaste, sin pérdida de estructura, pérdida que comienza con la suelta de áridos).

A partir de ese mínimo la macrotextura comienza a crecer (sin que ese crecimiento tenga un significado positivo de recuperación) y tiende a hacerlo muy rápidamente hasta que se alcanza un máximo a partir del cual ya no tiene sentido hablar de macrotextura de la capa, pasando a formar parte de la megatextura, que presentará valores elevados por formación de “nidos de pollo” o baches. En capas delgadas tipo lechada puede suceder que la pérdida de textura signifique la desaparición de la capa o por lo menos de sus efectos favorables, quedando al descubierto la capa inferior que fue cubierta con la capa delgada. Se puede decir que la capa de rodadura ha agotado su misión.

6. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

La **fricción o resistencia al deslizamiento** del pavimento es un valor crítico en la seguridad cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental sobre todo en carreteras de elevada intensidad de tráfico. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma especial. También se puede considerar que es una forma indirecta de medir la parte más fina de la textura es decir, la microtextura.

El coeficiente de rozamiento es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la naturaleza (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los neumáticos de los vehículos. Por tanto se tiene que comprobar periódicamente la resistencia al deslizamiento mediante técnicas de auscultación con equipos de medida del coeficiente de rozamiento.

Los equipos de medida de rozamiento realizan los ensayos sobre el pavimento mojado (por el equipo que vierte agua de forma controlada) y a una velocidad constante para poder comparar la variación del rozamiento a lo largo de la carretera.

Existe una gran variedad de equipos y de principios de medida, tanto de medida de la textura como de medida del rozamiento, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los datos. Para disminuir este inconveniente la **AIPCR** organizó en 1992 un Experimento Internacional que permitió establecer correlaciones y comparaciones entre equipos. Los resultados se publicaron en el documento **“Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento”** (1995).

Históricamente el nivel de adherencia se establecía (y se sigue haciendo) en los Pliegos de Prescripciones exigiendo al árido a emplear en las capas de rodadura unas características determinadas sobre su resistencia al pulimento (o desgaste). El ensayo que se emplea en España (y en gran parte de los países europeos) es el ensayo denominado “Pulimento acelerado de los áridos ” que determina un coeficiente de resistencia al desgaste denominado **CPA** cuya forma de realización viene recogido en la Norma NLT.-174/93

Las especificaciones actuales que se exigen en los pliegos generales (Revisiones del PG3) se recogen en la tabla siguiente:

VALORES DE CPA					
TRÁFICO	TO	T1	T2	T3	T4
PAVIMENTOS HORMIGÓN	0,5				
MEZCLA BITUMINOSAS	0,5	0,5	0,45	0,40	0,40
MEZCLAS POROSAS	0,45	0,45	0,40	0,40	0,40
LECHADAS BITUMINOSAS	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40

La especificación anterior es condición necesaria pero no suficiente para garantizar el nivel de adherencia por lo que se recurre a medidas sobre el pavimento terminado. El ensayo más antiguo es el denominado coeficiente de resistencia al deslizamiento medido con el péndulo del TRRL cuya forma de realización está recogida en la norma NLT 175/88

Sin embargo la problemática de la adherencia neumático pavimento es muy compleja y aunque se puede aseverar que la resistencia al deslizamiento de un pavimento recién ejecutado es en general muy elevada y que esa resistencia en superficie seca se conserva casi constante con el uso, la resistencia con el pavimento mojado disminuye de forma apreciable con el paso del tráfico y además existe una variación estacional de forma que los valores durante el verano son más bajos.

Al igual que sucede con otros parámetros la medida del **CRD** sólo es aplicable durante la construcción o para determinar atributos locales a zonas de pequeña longitud. La medida global de los valores del coeficiente de resistencia al deslizamiento de tramos de carreteras o de redes se realiza con técnicas de auscultación empleando equipos de “alto rendimiento” es decir, capaces de realizar ensayos continuos a velocidades normales del tráfico o próximas a ellas. Esto tiene las ventajas de “aproximar” los ensayos a las condiciones reales del fenómeno del deslizamiento y de poder evaluar muchos kilómetros de forma uniforme.

Sin embargo no ha existido a nivel internacional desarrollos homogéneos ni siquiera equiparables en la forma de medir el coeficiente de rozamiento. Existen diferencias en:

- El Principio de medida
 - Coeficiente Rozamiento Longitudinal
 - Rueda libre
 - Rueda parcialmente bloqueada
 - Con grado de bloque fijo
 - Con grado de bloqueo variable
 - Rueda bloqueada
 - Coeficiente de Rozamiento Transversal
- La velocidad de medida
- El espesor de la película de agua
- La carga sobre la rueda de ensayo
- El tipo de neumático de ensayo
 - Neumático liso
 - Neumático estriado

Como se puede observar existe una amplia gama de opciones de ensayo y de equipos que permiten realizarlos. Lo que complica bastante las comparaciones internacionales y ha dificultado el establecimiento de standards de calidad de carácter y validez general. Un intento de armonización ha sido el citado **“Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento”**, donde se definió un Índice de Fricción Internacional (**IFI**) independiente del equipo de medida, pero sobre el cual todavía no existe experiencia suficiente para indicar criterios de aplicación.

Un equipo antiguo que ha alcanzado en Europa una gran difusión y empleo ha sido el **SCRIM** (Sideway Coefficient Routine Inventory Machine) desarrollado por el TRRL (actualmente RRL Road Research Laboratory) de Inglaterra en la década de los 60. Obtiene un valor del nivel de adherencia del pavimento medido denominado coeficiente de fricción lateral **SFC** (Sideway Friction Coefficient), más conocido en España por la designación de Coeficiente de Rozamiento Transversal o **CRT**.

Los valores de **CRT** no es habitual que se establezcan en los Pliegos de Condiciones de Proyectos de nueva construcción ya que recién construido el pavimento, el valor siempre supera el umbral deseable. El valor de CRT de un pavimento nuevo suele situarse entre 0.70 y 0.80.

Los posibles problemas se plantean con la evolución del **CRT** con el tiempo y el paso del tráfico que va puliendo los áridos y disminuyendo su nivel de adherencia. Los valores de rozamiento que se necesitan dependen de diversas circunstancias como pueden ser la pendiente y la longitud del tramo en pendiente, la probabilidad de producirse situaciones de frenado (tráfico muy intenso, tramos congestionados, zonas semaforizadas, etc), trazados muy sinuosos o por el contrario tramos de elevada velocidad, etc. Las situaciones que se pueden producir son muy variadas por lo que no es habitual establecer especificaciones (con la excepción de Pavimentos de Aeropuertos) lo que suele realizarse son recomendaciones de amplio espectro, fijando umbrales de valores mínimos o de actuación necesaria a los que no se suele llegar porque la banda inmediata superior obliga a un seguimiento especial y a la señalización del tramo.

Aunque no corresponde al proyecto ni a la construcción al igual que con las roderas la tabla siguiente ilustra sobre los valores de rozamiento en los pavimentos.

CRT < 35	35#CRT < 50	CRT\$ 50
INADECUADO	SEGUIMIENTO ESPECIAL	GENERALMENTE ADECUADO

RESUMEN

En la ponencia se desarrollan las características de calidad necesarias o deseables de alcanzar en las capas de rodadura de una carretera a proyectar y construir. Se describen los parámetros de empleo habitual y los valores a obtener para asegurar que un pavimento tiene una calidad adecuada en Comodidad y Seguridad.

Los Pliegos de Condiciones Generales y Particulares definen, o deberían definir, especificaciones de **Regularidad Superficial** (mediante el Índice de Regularidad Internacional, **IRI**) de **Textura** (Mediante la **MPD** o la **MTD**, Profundidad Media del Perfil o el valor del Circulo de Arena) y la **Resistencia al Deslizamiento** (Mediante el **CRT** Coeficiente de Rozamiento Transversal). Aunque con este último los valores de calidad (seguridad) siempre se alcanzan en su etapa inicial y mantener los standards de calidad corresponde más a la Conservación que a la Construcción. De todas formas la tendencia general es a definir un Índice de Fricción Internacional (Mediante el **IFI**), sobre el que sin embargo no existe aún experiencia suficiente que permita determinar los valores aconsejables para conseguir la calidad deseada.

Asimismo se indica que en opinión del autor los controles y los standards de calidad se deben estudiar y valorar estadísticamente, empleando esta herramienta con mayor rigor y frecuencia en los Pliegos de Condiciones y en los Controles de Ejecución de la Obra.

Ramón Crespo del Río

Ingeniero de Caminos; Madrid 1971.

Desde 1972 a 1985. Trabajando a pie de obra en Asistencias Técnicas y Controles de diversas carreteras, Autovías y Autopistas de Peaje.

Desde 1985 a 1990 Funcionario Técnico Superior de Organismos Autónomos, trabajando en el Centro de Estudios de Carreteras del **CEDEX**

Actualmente funcionario en excedencia voluntaria, trabajando desde 1990 como Director de las Áreas de Auscultación Y Gestión de Firmes y de Control y Vigilancia de Obras en la empresa ***AEPO Ingenieros Consultores***.