

La calidad en las auscultaciones de características superficiales de los firmes: Evaluación de la conformidad

Road pavement surface characteristics measurements: Conformity assessment

Sixto Yanguas¹, Emilio Rodríguez-Rebollo¹ y Laura Parra^{1*}

Palabras clave

auscultación de características superficiales de los firmes; evaluación de la conformidad; SCRIM; resistencia al deslizamiento; perfilómetro láser; regularidad;

Sumario

Por medio de la auscultación de las características superficiales de los firmes de carreteras se obtiene una serie de indicadores que están relacionados con su estado, desde el punto de vista de la seguridad, confort e impacto ambiental. Estos indicadores permiten valorar si la carretera cumple una serie de requisitos o umbrales establecidos, que determinarán si es apta para su apertura al tráfico, si está prestando el servicio adecuado o si necesita ser rehabilitada.

Dada la trascendencia de los datos que se obtienen en las campañas de auscultación, es necesario garantizar que se ejecuten con un nivel de calidad adecuado. Para contribuir a que así sea, el CEDEX realiza anualmente ensayos de intercomparación que permiten evaluar la conformidad de los equipos de auscultación de características superficiales de los firmes.

Keywords

road pavement surface characteristics measurements; conformity assessment; SCRIM; skid resistance; laser profilometer; evenness;

Abstract

Through road pavement surface characteristics measurements a number of indicators related to its condition from the point of view of safety, comfort and environmental impact are obtained. These indicators assess whether the road meets certain requirements or thresholds that determine if it is suitable for opening to traffic, if they provide the right level of service or if it needs rehabilitation.

Given the significance of survey data, it is necessary to ensure that measurements are done with an appropriate level of quality. To help so, CEDEX conducts annually comparative tests for assessing the conformity of pavements surface characteristics auscultation devices.

1. INTRODUCCIÓN

La auscultación de las características superficiales de los firmes de carreteras tiene como objetivo recopilar información a partir de una serie de indicadores numéricos del estado de los pavimentos en servicio, que permiten evaluar las prestaciones de la capa de rodadura de las carreteras. Estos indicadores se refieren a una gran variedad de parámetros que influyen de manera más o menos directa en la seguridad y el confort de los usuarios de la vía, en el deterioro de los vehículos y en el impacto medioambiental de la carretera, al modificar el consumo de combustible o el ruido generado.

A estos efectos, las principales características superficiales de los firmes de carreteras son:

- La **resistencia al deslizamiento**, que influye de forma decisiva en la seguridad de la circulación y que es particularmente importante en pavimentos mojados.

- La **regularidad superficial**, cada vez más valorada, que es percibida directamente por los usuarios de la vía, e incide en la comodidad y seguridad así como en el deterioro de los vehículos y la durabilidad del firme.
- La **textura superficial**, que conjuntamente con el tallado de los neumáticos, contribuye a evacuar el agua de la superficie de la vía, mejorando así la adherencia a alta velocidad en condiciones de lluvia.
- El **ruido de rodadura**, la **absorción acústica** y las **propiedades ópticas** son otras de las características superficiales que, aunque cada vez cobran más importancia, no son medidas de forma tan habitual como el resto.

Gran parte de estas características son medidas sistemáticamente por diversos equipos de auscultación para la adecuada **recepción, gestión y conservación** de las carreteras. **Dada la trascendencia de los datos que se obtienen en las campañas de auscultación, es necesario garantizar que se ejecuten con un nivel de calidad adecuado.** Teniendo esto en cuenta, a continuación se realiza un análisis sobre la **calidad de los datos** proporcionados por los equipos de medida de características superficiales y sobre los procedimientos y métodos necesarios para su **evaluación**.

* Corresponding author: laura.parra@cedex.es

¹ Centro de Estudios del Transporte del CEDEX, Madrid, España.

2. LA CALIDAD. NORMATIVA GENERAL

El diccionario de la Real Academia Española define **calidad** como la “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor”. La norma UNE-EN ISO 9000:2005 “Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario” la define como el grado en el que un conjunto de características inherentes a un producto cumplen con ciertos requisitos, entendiendo como tales necesidades o expectativas establecidas, generalmente implícitas u obligatorias.

El **primer eslabón** del sistema de calidad radica en la aplicación sistemática de **métodos de medición normalizados**. Las especificaciones relativas a la medición de los parámetros que definen las diferentes características superficiales están contempladas en normas concretas. Así por ejemplo, la medida de la resistencia al deslizamiento con el equipo SCRIM está regulada en el informe técnico UNE-41201-IN “Características superficiales de carreteras y aeropuertos: Procedimiento para determinar la resistencia al deslizamiento de la superficie de un pavimento a través de la medición del coeficiente de rozamiento transversal (CRTS): SCRIM” y la medida de la regularidad superficial en las normas de la serie EN 13036 “Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo”, partes 5,6, 7 y 8, dedicadas a la “Determinación de los índices de regularidad longitudinal”, a la “Medición de los perfiles transversales y longitudinales en las longitudes de onda de la regularidad superficial y de la megatextura”, a la “Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla” y a la “Determinación de los índices de regularidad superficial transversal”, respectivamente. Para las partes 6, 7 y 8 existe la correspondiente versión UNE EN de estas normas.

No obstante, este conjunto de normas y especificaciones técnicas se centra casi exclusivamente en fijar y delimitar procedimientos y condiciones según los cuales deben desarrollarse los ensayos. Sin embargo, el mero hecho de citar que se ha realizado un ensayo “según norma” no garantiza que los resultados obtenidos tengan un determinado nivel de calidad, ya que, en general, las normas de ensayo ni contemplan todos los factores que pueden influir en el resultado de una medición, ni garantizan en sí mismas que se han seguido correctamente los protocolos indicados.

Para que una determinada medición tenga una calidad suficiente es necesario no sólo medir según los preceptos de la norma, sino que además se debe garantizar que todos los elementos de la cadena o procedimiento de medición cumplen a su vez las especificaciones que ésta marca. Esto implica, entre otros:

- El cumplimiento íntegro de la normativa de medición: Seguir los procedimientos, utilizar los utensilios indicados, controlar las muestras, etc.
- La verificación de todos los componentes del sistema: Calibración de los equipos, control de las variables que influyen de manera directa o indirecta en la medición (temperaturas, presiones, etc.).

- La formación del personal: Para minimizar las variaciones del resultado por las interpretaciones, acciones u omisiones de los operarios.

La manera de asegurar el cumplimiento de todos estos preceptos es la de complementar las normas de carácter específico con una **normativa general de control de calidad** que asegure su cumplimiento. Para este fin se ha desarrollado la familia de normas **ISO 9000** referida a la calidad y a los sistemas de gestión de la calidad de las organizaciones.

Esta familia de normas se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad de forma que se satisfagan los requisitos del cliente. Se podrá por tanto exigir a las empresas que estén en posesión de los certificados correspondientes, siempre conforme a lo estipulado en la normativa vigente. Esto, en una primera instancia, es suficiente para muchos estándares, en que la calidad o no de los productos o subproductos es fácilmente contrastable y resulta sencillo realizar verificaciones por el cliente o receptor de los mismos. En esos casos, el cliente puede detectar si los productos recibidos o recepcionados cumplen los estándares requeridos y, por otro, si la calidad de los productos de diferentes suministradores es comparable entre ellos.

Sin embargo en otros casos, como el que nos ocupa, resulta extremadamente complejo por parte del cliente verificar si se cumplen unos determinados estándares de calidad y de uniformidad respecto del suministrador de la información.

De esta manera parece claro que, en determinados casos, resultará necesario ir un paso más allá para asegurar que la calidad de determinados productos se adecúe a los requerimientos. Para esto, se ha desarrollado un nuevo escalón de control, plasmado en la familia de normas **ISO/IEC 17000**, relacionada con la “**Evaluación de la conformidad**”, que tratan de definir el grado de cumplimiento de los requerimientos de un producto, servicio o proceso por parte de su suministrador.

Como último paso y debido a la trascendencia que puedan tener unos determinados resultados, en algunos casos excepcionales los clientes pueden incluso llegar a requerir un control adicional de atestamiento de la calidad de un determinado producto o servicio. El procedimiento para llevar a cabo esta atestación es el de realizar verificaciones de **contraste por terceras partes**, ya sea de un modo intensivo o por muestreo, para comparar los resultados obtenidos y validar los procesos o resultados. Lógicamente el incremento de costes de este procedimiento solo está justificado en los casos en que de la calidad o la precisión de los productos se puedan derivar importantes consecuencias, ya sean económicas o de seguridad para las personas.

Resumiendo, el concepto de calidad engloba todo un conjunto de series normativas, desde la específica de cada producto en particular, pasando por la familia de normas ISO 9000 referida a calidad y a los sistemas de gestión de la calidad de las organizaciones hasta llegar a la familia de normas ISO/IEC 17000, relacionada con la evaluación de la conformidad (figura 1). Todos estos aspectos son cuestiones desarrolladas por separado pero complementarias, con el fin de conseguir un alto grado de calidad en los productos, sean del tipo que sean.

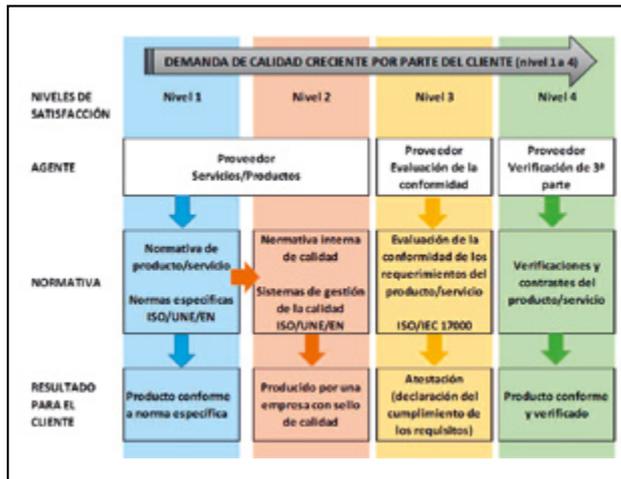


Figura 1. Estructura de la normativa general sobre calidad.

2.1. La evaluación de la conformidad

La **evaluación de la conformidad** se define como “la demostración de que los requisitos específicos relativos a un producto, proceso, sistema, persona u organismo se cumplen” (UNE-EN ISO/IEC 17000:2004 “Evaluación de la conformidad. Vocabulario y principios generales”).

Los beneficios de la evaluación de la conformidad son claros, pues aportan solidez y credibilidad a las afirmaciones de que se cumplen los requisitos especificados. Todas las partes implicadas en el proceso, consumidores, fabricantes, proveedores y los reguladores participan de estos beneficios.

En función del objeto evaluado y de sus necesidades específicas, el proceso debe adaptarse a tal fin. Como resultado de ello, existe una gran variedad en los diferentes tipos de evaluaciones, si bien todos ellos siguen el mismo enfoque general que se muestra en la figura 2. En La Norma UNE-EN ISO/IEC 17000:2004, en el anejo de carácter informativo A, se explican las distintas **etapas que integran la evaluación de la conformidad**, tal y como se detalla a continuación:

- El primer paso se denomina **selección** e involucra actividades de planificación y preparación con el fin de reunir o producir toda la información y las entradas necesarias para la siguiente función de determinación. El objeto sometido a la evaluación de la conformidad puede estar compuesto por un gran número de elementos idénticos, una producción continua, un proceso o un sistema definido y puede involucrar un gran número de actividades y situaciones diversas, que es imposible definir de manera extensiva. En algunos casos puede ser necesario prestar especial atención al muestreo de los elementos, en otros a las condiciones de los ítems u objetos de ensayo y en otros será necesaria una cuidadosa selección de los especímenes que posteriormente se utilicen en las actividades de determinación.
- Las actividades de **determinación**, se llevan a cabo con el fin de obtener información completa relativa al cumplimiento de los requisitos especificados por el objeto de evaluación de la conformidad

o su muestra. No existe ningún término genérico en la Norma UNE-EN ISO/IEC 17000:2004, ni en la práctica, que represente todas las actividades de determinación, aunque sí cita expresamente acciones tales como, ensayo/prueba, inspección, auditoría y evaluación entre pares, pudiendo existir otras no especificadas. En el caso de la auscultación de características superficiales, estas actividades de determinación se refieren a los equipos de medida y por tanto, nos referiremos a ellas como **ensayos de intercomparación**.

- Por último, la **revisión**, que consiste en la verificación de si se ha demostrado o no en forma confiable que el objeto sometido a la evaluación de la conformidad cumple con los requisitos especificados. Esta etapa concluye con la **atestación**, que es la emisión de una declaración del cumplimiento de los requisitos especificados, basada en los resultados de la revisión.

Hay distintos tipos de atestación según quién realice la revisión. Así hablaremos de declaración si lo hace una primera parte, de certificación si lo hace una tercera parte o de acreditación si lo hace una tercera parte relativa a un organismo de evaluación de la conformidad.



Figura 2. Enfoque general de la evaluación de la conformidad.

3. LA CALIDAD EN LA AUSCULTACIÓN DE CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES

Las grandes inversiones realizadas en los pasados años en la construcción de nuevas infraestructuras han dado paso a un nuevo modelo en el que es más necesario “mantener” que “construir”. Debido a esto, los sistemas de gestión y mantenimiento han pasado a consumir gran cantidad de recursos que han de ser optimizados y mejorados constantemente.

Estos sistemas de gestión son alimentados con toda una serie de datos procedentes de las diferentes auscultaciones, y en base a esta información se ejecutan determinadas acciones sobre las infraestructuras. Al estar los resultados de las auscultaciones en el primer nivel de todo un proceso de toma de decisiones, cualquier deficiencia en ellos se transmitirá en la cadena y producirá una irremisible pérdida de calidad en todo el sistema de gestión. Ello implicará, unas veces falta de actuaciones donde éstas eran requeridas y, otras veces, intervenciones innecesarias o que no eran prioritarias.

De todo esto, se deriva que garantizar la calidad de los resultados de las medidas de auscultación resulta fundamental dada la trascendencia de los datos que se obtienen, incidiendo directamente en los siguientes aspectos:

- Desde el punto de vista del usuario de la infraestructura, ya que influye de manera directa en su seguridad y en la comodidad de la circulación.
- Desde el lado de las administraciones que las gestionan, ya que en base a los datos recogidos se asignan o no, los limitados recursos necesarios para las actividades de conservación y mantenimiento de las carreteras.
- Desde el punto de vista de la valoración de las certificaciones en los contratos de gestión integral por indicadores, ya que éstas se modifican sustancialmente en función de los resultados de las auscultaciones.

En la actualidad la mayoría de las empresas, también las dedicadas a la auscultación de las características superficiales de los firmes, dispone ya de sistemas de gestión adecuados a la serie normativa **ISO 9000** y cuenta con las correspondientes certificaciones al respecto.

Desde la Dirección General de Carreteras (DGC) del Ministerio de Fomento se decidió dar un paso más en la línea de mejorar la calidad de los resultados de las auscultaciones y encomendó al Centro de Estudios del Transporte (CET) del CEDEX una serie de trabajos consistentes en la “**Evaluación comparativa de medidas tomadas con distintos equipos de medida de características superficiales de los pavimentos**”. En concreto: los de rozamiento transversal tipo SCRIM, y los de regularidad longitudinal y transversal. A la vista del esquema normativo que se recoge en la figura 3 y entendiendo la demanda de calidad creciente subyacente, este trabajo se ha enfocado como un instrumento para la evaluación de la conformidad de los equipos.

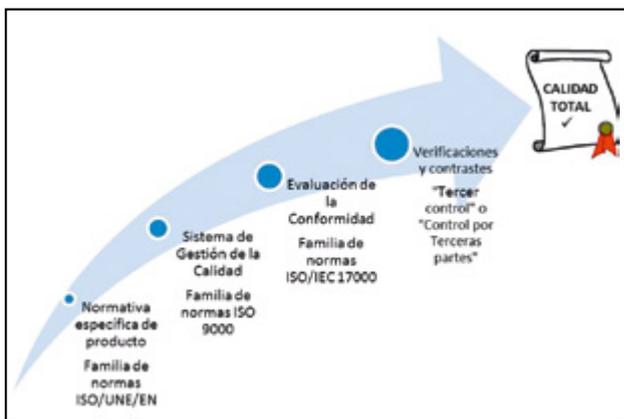


Figura 3. Calidad Total.

Por ello, en el CEDEX se han diseñado unos **ensayos de intercomparación** basados en:

- Las **experiencias previas** existentes a nivel internacional.
- La **experiencia propia** adquirida a partir de los trabajos realizados para la DGC.
- La adecuación de los ensayos de intercomparación a lo indicado en la **serie de normas ISO 17000**, adaptando las técnicas y procedimientos generales que figuran en estas normas, a las particularidades de los equipos de auscultación.
- Un **tratamiento riguroso de la información** y un exhaustivo **análisis estadístico de los resultados**.

4. ENSAYOS DE INTERCOMPARACIÓN

Para la realización de los trabajos encomendados por la DGC al CEDEX se recopilaron las experiencias previas internacionales existentes sobre este tipo de ensayos, en algunos de los cuales el CEDEX ha tenido una participación activa. Con todo esto, se diseñaron y efectuaron los primeros ensayos de intercomparación, que han servido para depurar las distintas hipótesis de trabajo, desarrollar los procedimientos y pruebas a las que se someten los equipos y definir el tratamiento y procesado de la información obtenida. Finalmente, se ha llegado a establecer una robusta metodología, en la que se basan los actuales **ensayos de intercomparación**, planteados como ensayos de aptitud y validación de equipos auscultación de carreteras.

4.1. Experiencias previas

A nivel mundial existe experiencia en la realización de ensayos intercomparativos de equipos de auscultación, del tipo Round Robin Tests o interlaboratorios. Esta metodología está basada en la realización de una serie de mediciones, repetidas varias veces de manera independiente por cada laboratorio participante, con el fin de comparar estadísticamente los diferentes valores obtenidos y así verificar el correcto funcionamiento de ensayos o equipos conocidos, o bien, validar nuevos métodos a la vez que se comparan con los existentes.

Algunos de estos ensayos intercomparativos, enfocados principalmente a la armonización de equipos de medida de características de los firmes, han sido: el Experimento Internacional de la AIPCR (Wambold, 1995), la Acción COST 336 (COST 336, 2000), el experimento FILTER (Descornet, 2002), o el Proyecto HERMES (AIPCR/PIARC, 2003), y más recientemente, el Proyecto SPENS (Spielhofer, 2006) o los ensayos del TRL de armonización de los equipos GripTester y SCRIM (Dunford, 2010), por ejemplo.

El CEDEX, como centro de referencia en auscultación de características superficiales en España, participó en varios de estos ensayos, en concreto en el Experimento Internacional de la AIPCR, el Proyecto HERMES y el Proyecto FILTER, por lo que se tiene un conocimiento profundo de sus planteamientos y ejecución, así como del tratamiento de la información que en ellos se obtuvo.

Del estudio de estos ensayos se han identificado algunos problemas o deficiencias en su planteamiento:

- Las **medidas no tienen suficiente rango**, por lo que el análisis estadístico abarca únicamente una parte de los valores que puede alcanzar la variable estudiada. Cuando estos resultados se generalizan, se realiza una extrapolación que hace que las conclusiones que pudieran extraerse sean inconsistentes.
- Los **datos están mal distribuidos** a lo largo del rango objeto de estudio, produciéndose concentraciones anómalas en determinados zonas y espacios “vacíos” en otras, lo que influye de manera decisiva en los resultados, ya que las regresiones estadísticas que generalmente se utilizan tienden a pasar por las zonas de “acumulación”, tomando estas zonas más peso que el resto.
- En algunos estudios se utilizan muy **pocos datos**, o se realizan mediciones en tramos muy cortos y poco

representativos, cuyos resultados son a posteriori generalizados.

- En general, se fijan **objetivos demasiado amplios**.
 - Utilizando modelos complejos que son función de un gran número de variables interrelacionadas entre sí, complicando enormemente el tratamiento estadístico.
 - Midiendo un gran número de parámetros simultáneamente.
 - Utilizando en un mismo experimento una gran variedad de equipos diversos y con fundamentos de medida muy diferentes.
- **El tratamiento estadístico es reducido** y apenas documentado. En muchos casos se utilizan criterios de aceptación o comparación vagos (valor de r^2 , errores absolutos, etc.) que no son suficientemente robustos.

Además, todos estos proyectos han estado enfocados al estudio de las comparaciones entre equipos con el fin de obtener correlaciones entre ellos y validar su empleo. En ningún caso tenían por objetivo garantizar la “calidad de las mediciones”, por lo que todos ellos dejan sin resolver el problema de determinar si un equipo es apto o no para realizar medidas, en base a unos requisitos de precisión fijados de antemano. A pesar de todo, nos han servido como punto de partida para desarrollar una metodología propia para la realización de los ensayos intercomparativos, adecuada a su empleo como una herramienta de evaluación de la conformidad.

4.2. Experiencia adquirida por el CEDEX

Entre los años 2009 y 2012, el CEDEX llevó a cabo un total de cuatro ensayos de evaluación comparativa de medidas tomadas con equipos SCRIM, tres con equipos de medida de la regularidad longitudinal y tres con equipos de medida de la regularidad transversal.

Como resultado de esta experiencia, se han puesto de manifiesto **cuestiones de gran importancia** que es necesario tener en consideración a la hora de planificar y llevar a cabo ensayos de intercomparación de equipos de auscultación de firmes de carretera:

- **Relevancia de los controles previos:** Se ha observado que es determinante efectuar una serie de comprobaciones sobre los equipos antes de realizar los ensayos de intercomparación propiamente dichos, para garantizar que todos cumplen las correspondientes normas específicas de ensayo que sean de aplicación. En concreto, es importante verificar que los equipos están correctamente mantenidos, se han efectuado las oportunas calibraciones y se siguen adecuadamente los protocolos necesarios a la hora de realizar los ensayos.
- **Cuidadosa elección de los tramos de ensayo:** Para asegurar que la comparación se efectúa sobre el mayor rango de la variable de medida posible. Así mismo, se debe conseguir además que el emplazamiento seleccionado reúna una serie de requisitos de accesibilidad, seguridad y mínima afección al resto del tráfico.
- **Consideración de la influencia de los factores ambientales:** En determinados casos, estos factores

afectan al valor de la propia variable que se está midiendo, como por ejemplo, el rozamiento transversal, siendo necesario homogeneizar las condiciones de ensayo, de forma que tengamos la máxima certeza de que todos los equipos están midiendo el mismo parámetro y en las mismas condiciones. Ello se consigue efectuando las pruebas de tal forma que todos los equipos hagan las mediciones uno a continuación del otro, con el menor intervalo de tiempo posible entre ellos.

- **Incertidumbre espacial en las medidas:** Con este tipo de equipos es imposible garantizar que se van a efectuar dos mediciones exactamente iguales, aunque se puede minimizar el efecto formando y explicando, a los operarios y conductores de los equipos, la importancia de realizar una determinada conducción a la hora de realizar los ensayos.
- **Tipología de los equipos de medida:** En algunos casos, los equipos que miden una determinada característica superficial no son del mismo tipo, sucediendo en ocasiones que incluso los principios de medida son diferentes. Dependiendo de estas circunstancias, la precisión que cabe esperar a priori de los ensayos será diferente, debiéndonos limitar a unas ecuaciones de corrección mucho más estrictas (del tipo $y = a \cdot x$) cuando todos son del mismo tipo, como en el caso de los equipos SCRIM, o pudiendo asumir ecuaciones de corrección más laxas cuando los equipos son sensiblemente diferentes, como sucede en el caso de los equipos de medida de la regularidad transversal. En este último caso, los ensayos no se estarían limitando a la intercomparación de equipo sino que además se añade una componente de armonización de las medidas.
- **Existencia de una medida “patrón”:** En el caso de la medida del CRTS no existe “valor patrón” de la variable, por lo que en estos casos, el estudio estadístico que se realiza sobre los datos adquiere, todavía más, una gran importancia. En las medidas de regularidad superficial (longitudinal y transversal) sí sería posible llevar a cabo medidas “de referencia”, pero dado que su ejecución es lenta y costosa, en última instancia se ha optado por someter también estos datos a un tratamiento estadístico para su comparación y valoración.
- **Formación de los operadores:** Cuando se realiza la evaluación de un equipo de medición de este tipo, la denominación de “equipo”, engloba indefectiblemente una componente humana que no es posible eliminar y que influye notablemente en la calidad de los resultados obtenidos. Por ello se ha constatado que es necesaria una formación especializada, tanto de los operarios como de los conductores de los equipos, que minimice, en la medida que sea posible, este factor que tanto puede influir en la incertidumbre de medición.

4.3. Consideraciones de la aplicación de la serie de normas 17000 a los ensayos de intercomparación

La serie de normas 17000 se refiere a la evaluación de la conformidad de forma general. Al ser particularizada a

los ensayos de intercomparación de equipos de medida de características superficiales, nos encontramos con una serie de particularidades que ha sido necesario analizar (figura 4).



Figura 4. Particularidades de los ensayos de aptitud de equipos de medición de características superficiales a la vista de las definiciones de la ISO.

Ya en la definición de ensayo de aptitud, aparece una **primera particularidad** al aplicarla a los equipos de medición de características superficiales, pues se indica que los equipos deben ser evaluados en función de “**critérios establecidos previamente**”. Al no haberse realizado ensayos de este tipo enfocados al control de calidad de las mediciones resulta muy difícil definir a priori unos criterios de aceptación o rechazo adecuados. Sin información previa fiable, se corre el riesgo por un lado de ser demasiado estrictos y no dar validez a la mayoría de los sistemas de medición, o por el contrario, ser demasiado “laxos” y dar por válido cualquier resultado. Gracias a las pruebas realizadas para la DGC entre 2009 y 2012 ha sido posible obtener información suficiente para poder fijar y definir unos **critérios** previos para la evaluación de los equipos que participan en los actuales ensayos de intercomparación.

La **segunda particularidad** se deriva a su vez de la definición de ensayo interlaboratorio, que se recoge como “*La organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares por dos o más laboratorios de acuerdo con condiciones predeterminadas*” (UNE EN ISO/IEC 17043:2010). En el caso de las características superficiales es imposible realizar ensayos sobre “**el mismo ítem**” o “**ítems similares**”, debido a la naturaleza de las pruebas y de las propias variables que se miden.

El procedimiento habitual para conseguir que todos los ítems que se distribuyen a los laboratorios participantes sean iguales o similares es el de realizar una toma de muestras sobre un determinado producto, de manera que cada muestra tenga características similares. Dependiendo del material, del ensayo o del procedimiento de que se trate, se pueden presentar **dos casos claramente diferenciados**: uno en el que el muestreo es prácticamente irrelevante porque el valor de la variable se distribuye homogéneamente en todo el material y otro caso, en el que el muestreo es una parte fundamental del ensayo, ya que el valor se ajusta a una determinada distribución o función que no es constante.

Para ilustrar esta diferencia, veamos **un primer caso** en el que se trata de evaluar la conformidad de un grupo de laboratorios A,B,C...N (Participantes), para determinar si

miden adecuadamente la concentración de un soluto diluido en un disolvente.

El procedimiento para evaluarlos será distribuir entre ellos lotes de ítems o muestras de ensayo con diferentes concentraciones y estudiar los resultados correspondientes a cada nivel de concentración. De esta manera, para un nivel k% de concentración se puede preparar un contenedor común de solución y dividirla en fracciones que se repartirán a cada laboratorio para su evaluación (figura 5). Si la mezcla es homogénea y no se supera el porcentaje de saturación del soluto, éste se disuelve completamente, y podemos afirmar que la concentración al tomar una muestra del contenedor donde hemos preparado la solución, no depende de en qué parte del recipiente lo hayamos tomado. El muestreo se hace, en este caso, prácticamente irrelevante y podemos afirmar que todas las muestras son iguales o al menos muy similares.

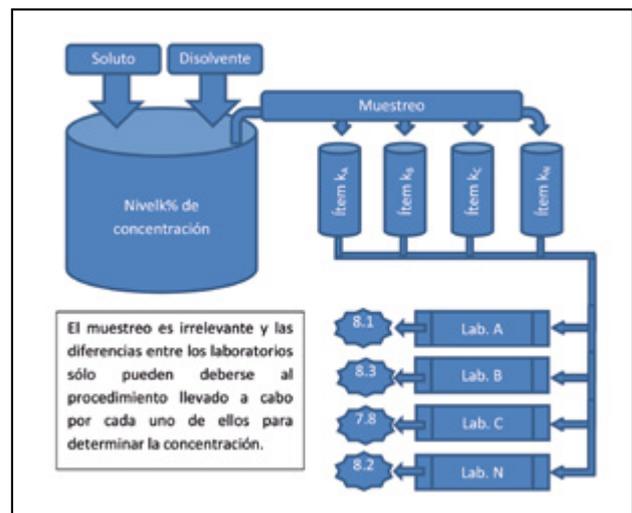


Figura 5. Ejemplo de ensayo interlaboratorio en el que el muestreo es prácticamente irrelevante.

Con todo esto, se puede afirmar que las diferencias que se obtengan en la determinación de la concentración por cada laboratorio se deberán exclusivamente al procedimiento de medición.

A diferencia del ejemplo anterior, en el caso de la **medición de características superficiales**, el valor de la variable objeto de medida no tiene un valor constante en todo el material (entendiendo por material, una determinada sección de carretera de características uniformes), sino que generalmente se distribuye siguiendo una distribución normal (que es la que con más frecuencia aparece en los fenómenos reales) de media μ y desviación típica σ . A modo de ejemplo, se puede ver en la figura 6, la distribución de los resultados estandarizados de ensayos de círculos de arena sobre diversos pavimentos (Parra y Yanguas, 2013), en la que se muestra que el conjunto de resultados se ajusta de manera muy aproximada a una curva normal. Así mismo, en el estudio citado se comprobaba cómo cada uno de los tramos con características constructivas uniformes superaba los tests que indican que dicha propiedad se ajusta a una distribución normal.

Es decir, en tramos de carretera relativamente uniformes nos encontraremos con que los valores de determinados parámetros no son constantes y varían de manera general siguiendo una distribución normal, por lo que el

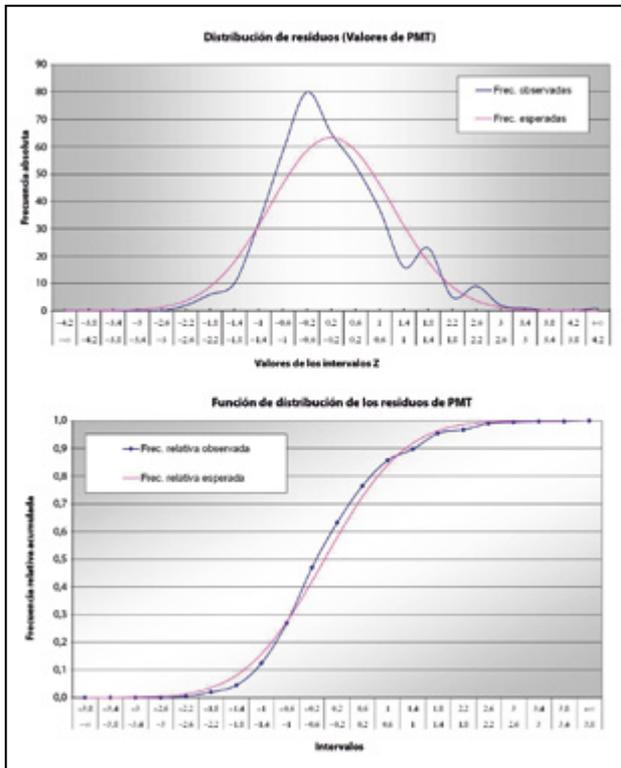


Figura 6. Distribución de los resultados de un conjunto de ensayos de círculos de arena sobre distintos pavimentos.

esquema de medición en los ensayos de intercomparación será similar al mostrado en la figura 7.

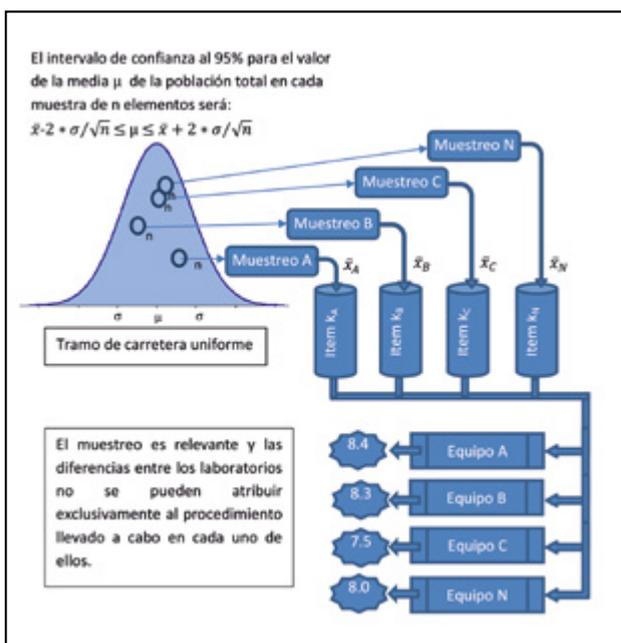


Figura 7. Ejemplo de ensayo interlaboratorio en el que el muestreo es relevante.

En este otro caso, se trata de evaluar la conformidad de un conjunto de equipos A, B, C, ...N (Participantes), para determinar si miden adecuadamente el valor de una determinada propiedad de la carretera.

El procedimiento para evaluarlos consiste en la realización de unos ensayos en los que todos los equipos midan distintos ítems o tramos de carretera que tengan “niveles” o valores de la propiedad objeto de estudio diferentes. De esta manera, para un nivel

determinado de la variable (asociado a un tramo de carretera relativamente uniforme), cada equipo realiza un muestreo que por definición será diferente, ya que la variable no tiene un valor constante en todo el tramo sino que realmente sigue una distribución normal de media μ y desviación típica σ .

El valor medio $\bar{x}_A \dots \bar{x}_N$ obtenido por cada uno de los N equipos participantes al tomar muestras de n^1 elementos, estará comprendido, con un nivel de confianza del 95%, en el intervalo $\mu \pm 2 * \sigma/\sqrt{n}$. Cada participante no “recibe” el mismo ítem, por lo que los resultados, aun siguiendo el mismo proceso de medición, deberán ser diferentes.

Esto nos lleva a que, en este tipo de situaciones, en las que el muestreo es relevante, las diferencias entre los resultados obtenidos por los diferentes equipos no pueden atribuirse exclusivamente al procedimiento de medición llevado a cabo por cada uno de los participantes.

La primera medida para minimizar el problema inherente al muestreo, es hacer que n sea lo más grande posible. Por ejemplo, en el caso del rozamiento transversal, esto implica que los tramos de carretera asociados a cada nivel de CRTS sean suficientemente largos con el fin de que tengan suficiente representatividad, resaltando la idea de que **no se pueden hacer comparaciones dato a dato**. De esta manera se podrían elegir sectores de carretera separados, cada uno con un nivel o valor de CRTS determinado, y efectuar las mediciones en pequeñas zonas, pero esto nos llevaría a realizar un gran número de mediciones en ubicaciones diferentes para obtener relativamente pocos resultados.

La manera práctica de llevar a cabo este planteamiento es tramificar o agrupar en zonas homogéneas, o subtramos, las series de datos que se obtienen de mediciones continuas en largos tramos de ensayo, en los que se producen variaciones sustanciales de la variable de medida, para conseguir un rango lo más amplio posible. Tras esta tramificación se deben eliminar los tramos que son demasiado cortos y poco representativos y luego en los tramos restantes asignar el valor medio de cada subtramo, como valor representativo del mismo (figura 8).

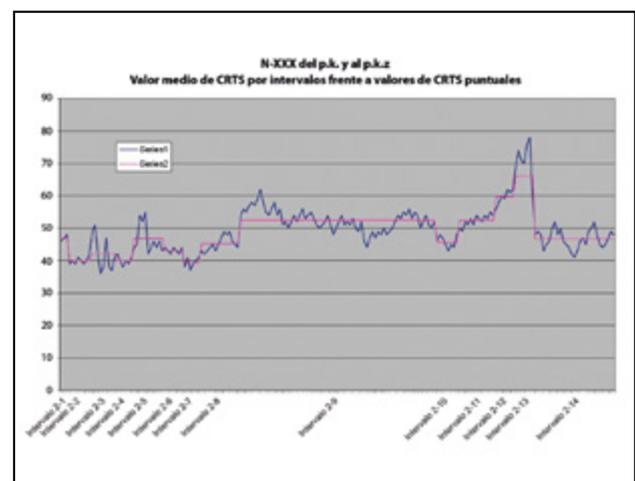


Figura 8. Ejemplo de tramificación realizada a partir de datos de CRTS.

1 En este tipo de mediciones, n es asimilable al número de datos individuales tomados por el equipo en toda la longitud del tramo uniforme.

N - XXX del p.k. y al p.k. z		
	Longitud (m)	Media (CRTS)
Intervalo 2 - 1	60	47.0
Intervalo 2 - 2	160	46.0
Intervalo 2 - 3	180	42.1
Intervalo 2 - 4	120	40.0
Intervalo 2 - 5	220	46.8
Intervalo 2 - 6	140	43.1
Intervalo 2 - 7	120	39.3
Intervalo 2 - 8	280	45.2
Intervalo 2 - 9	1400	52.5
Intervalo 2 - 10	160	45.8
Intervalo 2 - 11	260	52.4
Intervalo 2 - 12	140	59.7
Intervalo 2 - 13	180	66.1
Intervalo 2 - 14	560	46.7

Figura 8 (Continuación). Ejemplo de tramificación realizada a partir de datos de CRTS.

Aun tomando estas precauciones, no hay que perder de vista que cada una de las determinaciones seguirá incluyendo un cierto error asociado al muestreo, además del error de cada dispositivo de medida. Para minimizar todos estos errores de medida se repite el número de determinaciones que cada equipo realiza sobre cada muestra.

4.4. Tratamiento de la información y análisis estadístico de los resultados

Dentro de un ensayo de intercomparación se genera gran cantidad de datos que es necesario depurar, procesar e interpretar. Para ello, se han seguido los documentos normativos que aplican en este campo:

- La norma ISO 13528:2005 “Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons”, que trata fundamentalmente del procesado estadístico de la información y permite, entre otras cosas, obtener con un buen grado de aproximación la incertidumbre de medida asociada a cada tipo de determinación.
- La serie de normas UNE 82009 “Exactitud, veracidad y precisión”, que abordan el procesado estadístico de los resultados de los ensayos de intercomparación con el fin de conseguir unos valores definidos de reproducibilidad y repetibilidad.

A pesar de que toda esta normativa es bastante clara en su forma procedimental, hay que aclarar que estos textos están enfocados principalmente a experimentos químicos, biológicos o que, en general, se desarrollan en condiciones muy controladas, como puede ser ensayos en el interior de laboratorios, etc. Su puesta en práctica es difícil cuando se trata de valorar los resultados de otro tipo de ensayos que tienen lugar en condiciones mucho menos controladas, como es el caso de las auscultaciones de características superficiales o estructurales de los firmes y, por lo tanto, ha sido necesario adaptar los procedimientos en función de las particularidades de estos ensayos.

Además de seguir la metodología definida en estas normas, y puesto que uno de los objetivos perseguidos por estas pruebas es determinar la aptitud de los equipos para medir, se han utilizado modelos estadísticos que reproducen el ensayo de intercomparación en su conjunto, permitiendo simular un elevado número de repeticiones (con ensayos de Montecarlo), de forma que se puede determinar

la aptitud de los equipos en función de los parámetros obtenidos en la simulación (Yanguas, 2014). Gracias a los resultados obtenidos con estas simulaciones se ha podido comprobar que la utilización de los coeficientes de correlación R^2 es altamente inadecuada para valorar los resultados de un ensayo determinado, pues su valor depende de las características concretas de cada prueba (fundamentalmente del rango y número de pasadas), por lo que no se debería emplear como criterio de aceptación o rechazo de los equipos.

En base a estas premisas se ha desarrollado un procedimiento, según se muestra en la figura 9, que ilustra el tratamiento de la información utilizado en los actuales ensayos de intercomparación de equipos de auscultación.

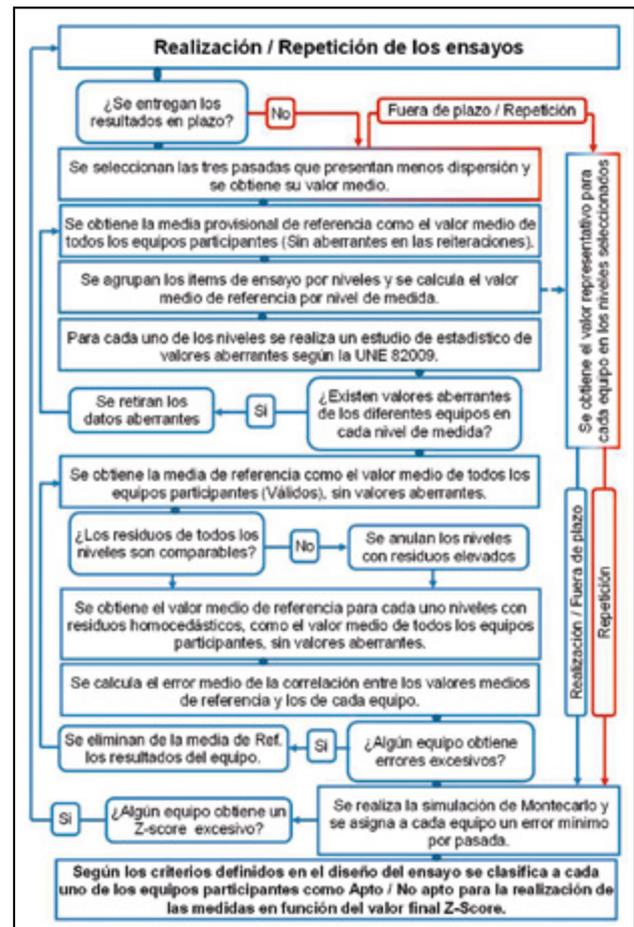


Figura 9. Esquema del tratamiento de la información de un ensayo de intercomparación.

4.5. Resultado final: metodología para la realización de ensayos de intercomparación

Teniendo en cuenta todas las consideraciones planteadas, el CEDEX ha desarrollado una **metodología para la realización de ensayos de intercomparación** (figura 10).

Esta metodología parte de un **diseño previo** de los ensayos, basado en el estudio de la variable objeto de análisis, de los equipos empleados para su medición y de la documentación y normativa existente, que servirán para planificar los ensayos subsiguientes.

A partir de las consideraciones identificadas durante el diseño previo, se define exhaustivamente el **ensayo de intercomparación**. Esta definición consiste en seleccionar

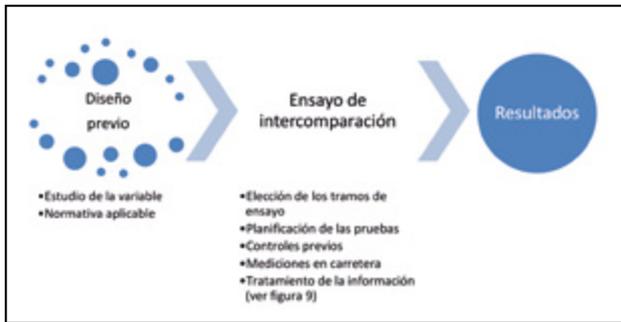


Figura 10. Metodología general de los ensayos de intercomparación propuestos por el CEDEX.

los tramos de ensayo, planificar la ejecución de las pruebas, concretando fechas y preparando la documentación que se debe entregar a los participantes, así como establecer los controles previos que sean necesarios. A continuación, se especifican los procedimientos que serán utilizados para realizar el control previo de los equipos y efectuar las mediciones de campo, que concluirán en una serie de mediciones en carretera perfectamente ordenadas.

Una vez realizados los ensayos, siguiendo el proceso predeterminado, se obtendrá una serie de resultados ordenados y coherentes con el fin que queremos conseguir. Toda esta información debe ser sometida a un cuidadoso tratamiento para validar los datos recogidos, que incluye una serie de análisis previos (depuración de la información, definición de valores de referencia, etc.) junto con un estudio estadístico ad hoc, que llevará finalmente, a la obtención de los **resultados finales**, estadísticamente robustos.

De esta forma, cabe afirmar que los **ensayos de intercomparación** realizados, siguiendo el procedimiento descrito, pueden ser considerados como una **herramienta para la evaluación de la conformidad de equipos de medida de características superficiales**.

Con estos ensayos, no sólo se consigue evaluar el desempeño de los equipos, sino que además se obtienen resultados de gran utilidad:

- **Armonización** de las medidas de los equipos participantes, estableciendo en el caso de ser necesarias, ecuaciones de corrección o ajuste que permitan independizar los resultados del equipo utilizado.

- Estimación de la **incertidumbre** y **precisión** del sistema de medición, entendiendo en este caso como sistema de medición el tipo o los tipos de equipos que participan en el ensayo de intercomparación, tales como SCRIM, Perfilómetros, etc.

Dados los excelentes resultados obtenidos con los ensayos de intercomparación (2010-2012) y visto el interés de su aplicación, se organizó para su divulgación la Jornada CEDEX “Nuevo planteamiento para la realización de Ensayos Comparativos de Equipos de Medida de Características Superficiales”, en junio de 2012.

Una vez que se ha considerado que la técnica está validada y lista para su aplicación, se han dado por concluidos los trabajos encargados por el Ministerio de Fomento y, desde el año 2013, el CEDEX ha pasado a prestar este servicio directamente a las empresas que estén interesadas en verificar el correcto funcionamiento de sus equipos SCRIM y Perfilómetros Láser. En febrero y septiembre del año 2013 se realizaron los primeros ensayos organizados por el CEDEX para la intercomparación de equipos de medida de la resistencia al deslizamiento tipo SCRIM y de equipos de medida de la regularidad, respectivamente. En estos momentos, se están realizando los correspondientes al año 2014.

5. ENSAYO DE INTERCOMPARACIÓN CON EQUIPOS SCRIM 2013

La **resistencia al deslizamiento** de un firme hace referencia a la contribución de la carretera a la adherencia entre el neumático y el pavimento. Este parámetro es fundamental pues tiene una influencia decisiva en cuestiones tan importantes como la distancia de frenado y la capacidad de modificar la dirección del vehículo en la carretera, que se consideran factores clave en la seguridad vial.

De entre los diferentes sistemas para la medida del deslizamiento, el más usado en la actualidad es el equipo **SCRIM®** (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine), fabricado por la empresa WDM bajo licencia del Laboratorio de Investigación del Transporte del Reino Unido (UK Transport Research Laboratory) TRL.

Este equipo (figura 11) obtiene directamente el Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRTS) al forzar a que una

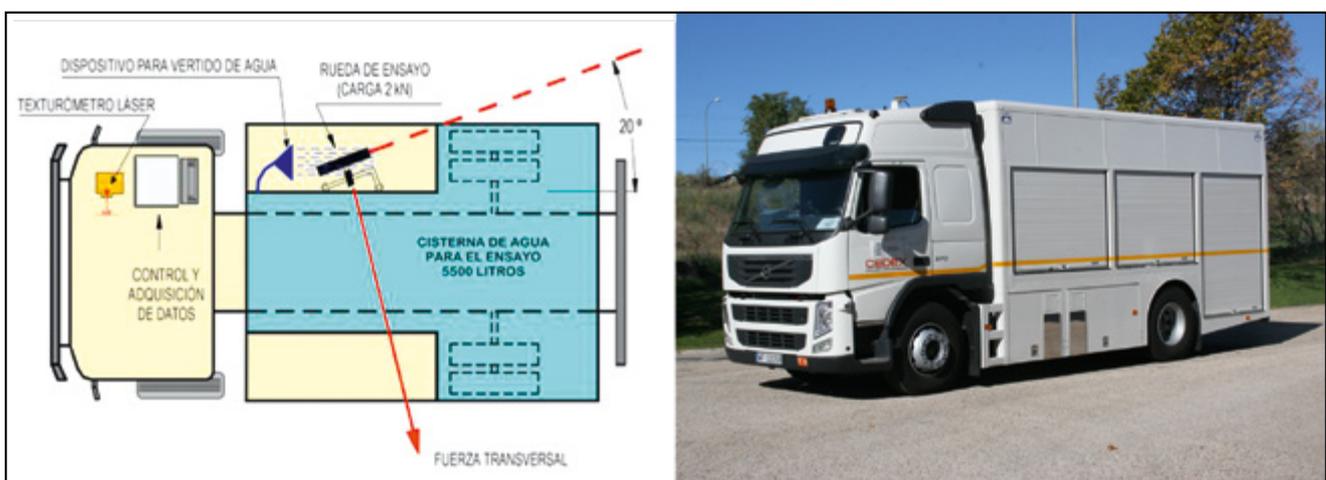


Figura 11. Equipo SCRIM del CEDEX.



Figura 12. Comprobaciones previas (SCRIM).

rueda, que gira libremente, se desplace sobre la superficie de la vía, humedecida previamente, con un ángulo de deriva fijo respecto al sentido de la marcha del vehículo portante.

Las actuales especificaciones técnicas españolas indican como valor de referencia el valor del CRTS obtenido con el equipo SCRIM. En nuestro país, la especificación que regula el funcionamiento de este equipo está recogida en el informe técnico UNE 41201:2010 IN “Procedimiento para la medida de la resistencia al deslizamiento de la superficie de un pavimento a través de la medición del coeficiente de rozamiento transversal (CRTS): SCRIM”, que es la versión oficial, en español, de la especificación técnica CEN/TS 15901-6:2009 “Road and airfield surface characteristics. Part 6: Procedure for determining the skid resistance of a pavement surface by measurement of the sideway force coefficient (SFCs). SCRIM”.

El ensayo de intercomparación de equipos tipo SCRIM consta de dos partes, por un lado la realización de una serie de comprobaciones previas y, por otro lado, las pruebas de carretera. Las **comprobaciones previas** permiten verificar que los equipos están en condiciones adecuadas y que se cumplen las especificaciones estipuladas en el informe UNE correspondiente. En concreto se verifica el caudal vertido, el punto de impacto en el pavimento del chorro de agua, el ángulo de la rueda de ensayo, el peso e histéresis de la masa móvil y la calibración de la célula de carga (figura 12).

Estas comprobaciones previas tienen gran importancia. Se ha verificado que de modo general aquellos equipos que han presentado algún problema en estos aspectos, han tenido luego un peor comportamiento en las pruebas de carretera. De esta manera se ha establecido que, para que un equipo

en particular sea tomado en consideración a la hora de calcular el valor medio de consenso, que servirá posteriormente de referencia a todos los equipos, éste haya debido superar satisfactoriamente las comprobaciones previas.

Las **pruebas de carretera** siguen el esquema de un ensayo del tipo Round Robin Test y consisten en la medida del CRTS en los tramos de ensayo previamente seleccionados por el CEDEX (figura 13). Cada uno de los participantes efectúa varias pasadas, normalmente tres, de forma que se obtengan una serie de valores estables del parámetro CRTS con los que comparar los distintos equipos. Adicionalmente, se suele realizar una primera pasada sin verter agua para poder medir la textura.



Figura 13. Equipo SCRIM realizando las pruebas en carretera.

Una vez concluido el ensayo, se recogen los datos medidos por todos los equipos. Esta información se somete a una serie de tratamientos con el objetivo de obtener los resultados finales **para cada equipo**, que son el **error mínimo** cometido en las pruebas y la **ecuación de corrección** para armonizar sus resultados con el del resto de

participantes. Por otro lado, en función del valor del parámetro **Z-score** obtenido, se determina si el equipo es apto o no para la medida del CRTS. Adicionalmente se obtiene la **repetibilidad** y la **reproducibilidad del ensayo**.

Los resultados de las pruebas efectuadas en 2013 han sido muy satisfactorios, resultando aptos todos los equipos que se han presentado a ellas.

6. ENSAYOS DE INTERCOMPARACIÓN CON EQUIPOS DE MEDIDA DE LA REGULARIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL 2013

De manera general, se denomina **regularidad superficial** a las diferencias entre la superficie teórica proyectada y la que realmente encontramos, tanto en vías de nueva construcción como en carreteras ya en servicio. El estudio de la regularidad superficial se suele separar en dos grandes grupos: la regularidad longitudinal y la regularidad transversal, tomando en consideración las normas de la serie EN 13036 “Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo”: Parte 5 “Determinación de los índices de regularidad longitudinal”, Parte 6 “Medición de los perfiles transversales y longitudinales en las longitudes de onda de la regularidad superficial y de la megatextura” y Parte 8, “Determinación de los índices de regularidad superficial transversal”. Las partes 6 y 8 son transposiciones de la norma europea.

Dentro de los diferentes parámetros que sirven para determinar la **regularidad longitudinal**, el más utilizado es el **IRI** (Índice de Regularidad Internacional), que se utiliza actualmente para determinar el estado de regularidad de los firmes por la Dirección General de Carreteras. Existen numerosos equipos para medir el IRI, que se pueden agrupar en equipos de alto rendimiento, válidos para auscultaciones a nivel de red, y equipos de precisión, de escaso rendimiento. En el ensayo de intercomparación del año 2013 se evaluaron únicamente equipos de alto rendimiento del tipo **Perfilómetro Láser** (figura 14).

El parámetro habitualmente empleado para la evaluación de la **regularidad transversal** es la “**Profundidad de rodadura**” (en la rodada izquierda y en la derecha). Su medida se puede hacer bien de forma manual por métodos tradicionales, como puede ser el de la regla, o bien por medio de equipos de alto rendimiento, como son los Perfilómetros Láser. En el ensayo de intercomparación del año 2013 participaron Perfilómetros Láser que responden a dos tecnologías diferentes, por un lado los que emplean sensores láser, y por otro lado los de tipo scanner, que toman imágenes de la superficie de la carretera, que en lugar de emitir un haz de luz láser puntual emiten un plano de luz, que al intersectarse con la superficie de la vía forma una línea continua que es fotografiada por una cámara desde un determinado ángulo. Los de tipo láser son similares a los que se emplean para medir regularidad longitudinal, pero con un mayor número de sensores (entre 15 y 17), de forma que pueden medir transversalmente el perfil de la carretera. Los de tipo scanner pueden medir un mayor número de puntos del perfil.

Las pruebas a las que se someten a los equipos consisten en la medida del correspondiente parámetro en un tramo seleccionado. Cada equipo realiza cuatro pasadas, con el objetivo de obtener resultados lo más estables posible.

Con los datos de cada dispositivo, y siguiendo la metodología del CEDEX, se determina, al igual que con los equipos de SCRIM, su error mínimo, su ecuación de corrección, si la necesita, así como su aptitud para llevar a cabo medidas de regularidad longitudinal o transversal, en función del valor del parámetro Z-score. Con esta información se calcula también la repetibilidad y la reproducibilidad del ensayo.

Todos los equipos que se presentaron a los ensayos efectuados en 2013 resultaron aptos. La incertidumbre de medición asociada a los equipos de medida de la regularidad longitudinal se estimó en $\pm 0,18$ dm/hm. Las reproducibilidades obtenidas por el conjunto de equipos participantes en las pruebas fueron 0,092 y 0,070 dm/hm para la rodada derecha e izquierda, respectivamente. Por su parte, los resultados obtenidos por los perfilómetros que miden regularidad transversal permitieron estimar que sus medidas tienen una precisión de $\pm 1,56$ mm, al haberse obtenido por el conjunto de equipos participantes en el ensayo de intercomparación unas reproducibilidades de 0,56 mm y 0,24 mm para las profundidades de rodadura derecha e izquierda, respectivamente.



Figura 14. Equipo Perfilómetro del CEDEX.

7. CONCLUSIONES

En cualquier actividad es fundamental asegurar la calidad del producto final o servicio y el caso de la auscultación de las características superficiales y estructurales de los firmes no es una excepción.

La calidad de las mediciones que se efectúan es muy importante debido a las implicaciones que se derivan del análisis de la información recogida. Por un lado, desde el punto de vista de la **funcionalidad** de la carretera, ya que se manejan índices que valoran la seguridad de la vía, la comodidad de los usuarios, el impacto ambiental y las condiciones de servicio, entre otros, y por otro, desde un punto de vista **económico**, ya que a partir de estos índices se priorizan las actuaciones de construcción y mantenimiento, asignando de forma eficaz los recursos. Además, y de forma más reciente, en los nuevos contratos de las autovías que se gestionan en régimen de concesión estos índices entran como un factor más a tener en cuenta en el cálculo de las certificaciones que se abonan a los concesionarios.

Para garantizar este propósito, existe todo un conjunto de **normas** encaminadas a asegurar que un producto o servicio sea satisfactorio. Desde las propias del producto o

servicio en concreto, pasando por las de gestión de calidad (familia ISO 9000) hasta las de evaluación de la conformidad (familia ISO 17000). Si además, algunos casos fuesen de singular importancia por su especial repercusión, se pueden realizar controles adicionales por terceras partes que verifiquen la calidad del producto.

Para el caso de la medición de características superficiales de los firmes, y dentro de esta estructura general de aseguramiento de la calidad, **el CEDEX ha asumido la tarea de evaluar la conformidad de los equipos**, verificando el grado de cumplimiento de los requisitos establecidos por medio de **ensayos de intercomparación**.

Para ello, ha desarrollado una **metodología** basada en la normativa de carácter general (UNE EN ISO/IEC 17043:2010, serie UNE 82009, ISO 13528:2005) y adaptada a este tipo de ensayos, en los que los parámetros de medida tienen ciertas particularidades, fundamentalmente derivadas de la aleatoriedad de las muestras y de las condiciones ambientales, que distan mucho de estar controladas, como así sucede en los ensayos realizados en un laboratorio para los que originariamente fueron desarrolladas estas normas.

Las pruebas consisten de manera general, en realizar una selección previa de tramos de ensayo, suficientemente largos y con un rango adecuado a la variable medida, para posteriormente dividirlo en sectores uniformes suficientemente representativos que den robustez a los resultados obtenidos. Sobre estos tramos, cada uno de los equipos efectúa varias pasadas (en general 3 ó 4). Por último, se realiza un riguroso tratamiento estadístico de la información, determinando **para cada equipo participante** una serie de parámetros que permiten evaluar de una manera objetiva su **aptitud**.

Además, el procedimiento permite determinar, si es necesario, **ecuaciones de corrección** para cada equipo, que permiten la armonización de los resultados del ensayo. Así mismo, se obtiene la **repetibilidad** y la **reproducibilidad** de la prueba, con las que se calcula la **incertidumbre** asociada a la medición con un tipo de equipo determinado. De esta forma, se contribuye a garantizar que **los equipos miden correctamente** y que los resultados que proporcionan tienen unos **errores admisibles**.

El proceso de implantación de estos ensayos de intercomparación ha contado con la colaboración activa de la DGC, que patrocinó las primeras pruebas (2009-2012), y con el apoyo de las empresas, que a partir de 2013 han asumido parte del coste de los ensayos.

En el año **2013**, el CEDEX realizó los **primeros ensayos de intercomparación**, propiamente dichos, de equipos **SCRIM**, para la medida de la resistencia al deslizamiento, y de equipos tipo **Perfilómetro Láser**, para la medida de la regularidad superficial. Los resultados de ambos ensayos han sido muy satisfactorios, llegando a la conclusión general de que los equipos miden de forma adecuada.

Como beneficios adicionales de la realización de estas pruebas de aptitud se pueden citar:

- La detección de problemas en los equipos, que de otra forma pasarían desapercibidos.
- Incremento de la confianza de los clientes en los ensayos.
- Adecuación de la normativa específica, incorporando la experiencia conseguida (optimización de los

procedimientos de ensayo, de calibración y verificación, etc.).

Dados los resultados obtenidos y su utilidad, se considera fundamental seguir avanzando en esta línea, para lo que convendría repetir estos ensayos con una periodicidad anual así como su inclusión en los pliegos como requisito.

Esta preocupación por avanzar en la consecución de unos resultados de cada vez mayor calidad está también presente en el Comité Europeo de Normalización de “Características superficiales de los firmes de carreteras” (CEN TC 227 WG5), en el que se está trabajando en el análisis de procedimientos para el aseguramiento de la calidad de las mediciones. En la reunión de este comité celebrada en Guimaraes (Portugal) en 2012, España presentó su experiencia en relación con la armonización de resultados y la validación de equipos (Yanguas, 2012a, 2012b y 2012c). Parece esperable que, en un futuro próximo, se implante o recomiende la realización de pruebas de este tipo a nivel europeo, en una primera instancia como un apartado dentro de cada normativa específica y en una segunda fase, como un documento normativo separado, para lo que habrá que continuar investigando y recopilando la experiencia de distintos países.

8. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección Técnica de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento el apoyo prestado para el desarrollo de la metodología para llevar a cabo estos ensayos de intercomparación de equipos de medida de características superficiales. Así mismo, agradecen a las empresas participantes en los ensayos (ACCIONA Ingeniería, Applus, COLLOSA, EPTISA, EUROCONSULT, GEOCISA, GYA, IDEYCO, INTERCONTROL, INTEVIA, INZAMAC, PAVASAL y PAYMACOTAS) por su colaboración y el interés en la realización de las pruebas de intercomparación. Igualmente, agradecen a todos los compañeros del Área de Construcción y Medio Ambiente del Centro de Estudios del Transporte la ayuda prestada para la redacción del presente artículo.

9. BIBLIOGRAFÍA

- AIPCR/PIARC (2003). *XXII Congreso Mundial de Carreteras*. Durban (Sudáfrica).
- COST 336 (2000). “*Use of Falling Weight Deflectometers in Pavement Evaluation*”. Final Report of the Action.
- Descornet, G. (2002). *FILTER*. Final Report, FEHRL Report 2002/1.
- Dunford, A. (2010). “*Griptester Trial October 2009. Including SCRIM Comparison*”. Published Project Report PPR497. TRL.
- prEN 13036-5.(2006). “*Road and airfield surface characteristics. Test methods. Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices*”.
- Parra, L., Yanguas, S. (2013). “*Correlación de medidas de macrotextura tomadas con el método volumétrico y con diferentes texturómetros láser*”. Revista Ingeniería Civil Nº 169/2013. Madrid.
- Spielhofer, R. (2006). “*Guía para el desarrollo de una metodología sobre técnicas no destructivas de medida de pavimentos*”. Proyecto SPENS.
- UNE-EN ISO 9000. (2005). “*Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario*”.

UNE-EN ISO 9001. (2008). "Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos".

UNE-EN ISO/IEC 17000. (2004). "Evaluación de la conformidad. Vocabulario y principios generales".

UNE EN 13036-6. (2008). "Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 6: Medición de los perfiles transversales y longitudinales en las longitudes de onda de la regularidad superficial y de la megatextura".

UNE EN 13036-7. (2004). "Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla".

UNE EN 13036-8. (2008). "Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación de los índices de regularidad superficial transversal".

UNE 41201. (2010). IN "Características superficiales de carreteras y aeropuertos: Procedimiento para determinar la resistencia al deslizamiento de la superficie de un pavimento a través de la medición del coeficiente de rozamiento transversal (CRTS): SCRIM".

UNE-EN ISO/IEC 17025. (2005). "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración".

UNE-EN ISO/IEC 17043. (2010). "Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud".

Wambold, J. C. et al. (1995). "International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurement". Final report, No. 01.04.T. Technical Committee on Surface Characteristics, World Road Association (PIARC). Paris.

Yanguas, S., González, J., Parra, L. (2014). "Resumen y conclusiones sobre ensayos comparativos realizados con equipos de medida de características superficiales". Enero de 2014. Informe CEDEX. Madrid.

Yanguas, S., Parra, L. (2012a). "Longitudinal Evenness Spanish Harmonisation Tests 2011". Presentación expuesta en el Comité CEN227/WG5/TG1 celebrado en Guimaraes (Portugal).

Yanguas, S., Parra, L. (2012b). "SCRIM Spanish Harmonisation Tests 2011". Presentación expuesta en el Comité CEN227/WG5/TG2 celebrado en Guimaraes (Portugal).

Yanguas, S., Parra, L. (2012c). "Spanish statistical methodology proposal for Harmonisation Tests". Presentación expuesta en el Comité CEN227/WG5/TG2 celebrado en Guimaraes (Portugal).

UNE 82009-1. (1998). "Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 1: Principios generales y definiciones".

UNE 82009-2. (1999). "Exactitud (veracidad y precisión) de resultados y métodos de medición. Parte 2: Método básico para la determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de medición normalizado".



Guía técnica para la implantación de biorreactores de membrana

Autores: Raquel Iglesias Esteban, Enrique Ortega de Miguel, María Adela Martínez Tarifa, Pedro Simón Andreu, Lucas Moragas Bouyat, Emilia García Fernández, Jordi Robusté Cartró, Ignasi Rodríguez-Roda Layret

Serie Manuales y Recomendaciones: R-22

ISBN: 978-84-7790-548-6

Año: 2014

P.V.P.: 25€

Esta Guía recoge de forma ordenada la experiencia y el conocimiento generado en España sobre los MBR, consiguiendo así una herramienta útil que permite a todos los actores implicados (planificadores, gestores, ingenierías, operadores, etc.) tomar decisiones sobre su implantación, avanzar en la mejora del diseño y conocer las singularidades de la operación de esta tecnología. La Guía está estructurada en seis capítulos, comenzando con una introducción sobre la evolución de los MBR y un segundo capítulo con la descripción de la tecnología, donde se detallan los fundamentos del proceso, su funcionamiento, las peculiaridades de las instalaciones y la calidad

del efluente obtenido. El tercer capítulo se dedica a la operación donde se recoge la experiencia, problemas, soluciones y recomendaciones al respecto y el cuarto capítulo, dedicado al diseño, recoge recomendaciones basadas en la experiencia de esta operación. El quinto trata sobre los costes de implantación y explotación, y en el último capítulo se establecen algunos criterios de implantación de esta tecnología.



Políticas de Movilidad Urbana Sostenible en España (2004-2011). Un análisis desde la perspectiva de la Gobernanza (CD-ROM)

Autores: Sonia De Gregorio Hurtado

Serie Monografía: M-122

ISBN: 978-84-7790-549-3

Año: 2014

P.V.P.: 12€

Durante la última década se ha avanzado en España en las políticas orientadas a conseguir una movilidad urbana y metropolitana más sostenible. Este trabajo aborda el análisis de las políticas de Movilidad Urbana Sostenible puestas en marcha en el país durante el periodo 2004-2011, desde la observación de la complejidad que introduce en la construcción e implementación de políticas la presencia de un número relevante de actores institucionales (Unión Europea, Gobierno Central, Comunidades Autónomas, Provincias, Áreas Metropolitanas, Ciudades, Consorcios de Transporte) y no institucionales (la ciudadanía; actores económicos, sociales y ambientalistas, etc.).

Para ello revisa desde la perspectiva de la Gobernanza la acción acometida por los diferentes niveles de gobierno, con el fin de entender el enfoque que la ha sustentado, teniendo en cuenta que las directrices en el marco de la sostenibilidad acordadas a nivel internacional, la literatura científica, y la experiencia en relación a este tema, señalan como condiciones que han favorecido el desarrollo de políticas de movilidad sostenibles y eficaces: la inclusión en los procesos de toma de decisiones de todos los actores con interés en los mismos, la colaboración interdepartamental y la cooperación entre diferentes niveles de gobierno. El conocimiento alcanzado establece el punto de la situación en el país y ha permitido señalar un conjunto de recomendaciones. Todo ello se propone como contribución a la reflexión sobre el tema mencionado en el momento presente, caracterizado por una complicada situación socioeconómica, donde la revisión de las políticas hacia la eficacia y la legitimidad cobra aún más sentido.