



## Validación de resultados de ensayo con dispositivo de caracterización de superficie

I. Sánchez<sup>1</sup>, J. Velasco<sup>2</sup>, J.A. Cabrera<sup>3</sup>, J.J. Castillo<sup>4</sup>, M. Sánchez<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Universidad de Málaga. nsanchez@uma.es

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Universidad de Málaga. juanmav@uma.es

<sup>3</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Universidad de Málaga. jcabrera@uma.es

<sup>4</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica, Térmica y de Fluidos. Universidad de Málaga. juancas@uma.es

<sup>5</sup>Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía. Universidad Miguel Hernández de Elche. msanchez@umh.es

---

*La adherencia y la rugosidad son parámetros clave en la ingeniería de vehículos y la seguridad vial, ya que afectan a la maniobrabilidad y estabilidad de los vehículos al influir en el comportamiento de los neumáticos sobre las superficies de rodadura. Con el fin de avanzar en la investigación y desarrollo de tecnologías más eficaces para la mejora de la dinámica vehicular, se ha diseñado un sistema para caracterización de superficies capaz de medir simultáneamente la adherencia y la rugosidad, proporcionando resultados más rápidos y precisos en comparación con los métodos usados tradicionalmente. Se plantea que este sistema no solo pueda tener aplicación en el estudio de superficies, sino también en los trabajos de optimización de los sistemas de control vehicular, como frenos, tracción y estabilidad que requieran información de superficie.*

*En este trabajo se muestran los primeros resultados obtenidos con el nuevo sistema de medida, así como el análisis y validación de los ensayos comparativos con métodos tradicionales tan extendidos como el Péndulo Británico o el Método del Parche Volumétrico. Las primeras pruebas mostraron que el nuevo sistema ofrece resultados consistentes y repetibles.*

*El sistema propuesto representa un avance significativo en la medición de la adherencia y la rugosidad de las superficies de rodadura. Su capacidad para proporcionar mediciones precisas y rápidas no solo es útil para optimizar el desarrollo de trabajos en el ámbito de la dinámica de los vehículos, sino que también facilita el desarrollo de normativas más rigurosas para evaluar el estado y la seguridad de las carreteras, contribuyendo a mejorar la seguridad vial en general.*

---

## 1. Introducción

El estudio del contacto entre el neumático y la superficie de rodadura es un área de gran interés tanto en la automoción como en la ingeniería de infraestructuras viales. Esta relación es única y fundamental para la seguridad y el rendimiento del vehículo, influyendo en la frenada, aceleración y estabilidad lateral, pues es a través de la huella de contacto por donde se transmiten todas las fuerzas. Este hecho ha suscitado numerosas investigaciones que abordan este fenómeno desde enfoques numéricos, analíticos o experimentales.

Los modelos numéricos y de simulación emplean herramientas como elementos finitos para evaluar el contacto neumático-superficie bajo diferentes tipos de condiciones. Los modelos analíticos describen matemáticamente la adherencia en función de variables como la presión de contacto, la deformación del neumático y la textura del pavimento. Por último, los estudios empíricos se fundamentan en la recopilación de gran cantidad de datos experimentales mediante dispositivos de medición. Entre estos, un modelo ampliamente utilizado es la "Magic Formula" de Pacejka, que describe con gran exactitud fenómenos físicos como la adherencia del neumático en función del deslizamiento, la carga normal o la velocidad.

Para mejorar el diseño de los neumáticos o evaluar las condiciones de la superficie, es crucial disponer de datos de ensayo de superficie precisos. Existen diversos tipos de ensayos para medir la adherencia y la rugosidad de la superficie con el fin de caracterizar su predominancia y la relación que existe entre estas variables [1 - 5], se dividen principalmente en dos categorías: ensayos estáticos, aquellos que realizan mediciones puntuales en una superficie fija; y ensayos dinámicos, los que registran datos en movimiento mediante vehículos sensorizados.

Entre las herramientas para realizar ensayos estáticos destaca el Péndulo Británico (BPT), un dispositivo portátil ampliamente tratado en bibliografía [6, 7] y utilizado en normativas nacionales e internacionales [8]. Su popularidad radica en su facilidad de uso, portabilidad y capacidad de medir la adherencia tanto en seco como en mojado. No obstante, presenta limitaciones, como la falta de representación de condiciones de fricción real, su dependencia ante la manipulación del operador y la necesidad de correlacionar sus resultados con coeficientes de fricción reales.

Por su parte, los ensayos dinámicos incluyen dispositivos montados en vehículos que simulan condiciones de conducción reales. Éstos se pueden dividir en función del modo de operación sobre el neumático sensorizado. Ejemplos de estos sistemas son: dispositivos con rueda bloqueada (CHIRP, Estados Unidos), sistemas que imponen ángulo de giro del neumático sensorizado (SCRIM, Inglaterra) y, por otra parte, equipos con rueda parcialmente bloqueada de deslizamiento fijo (Friction Tester, Japón) o deslizamiento variable (Norsemeter, Noruega) [9, 10].

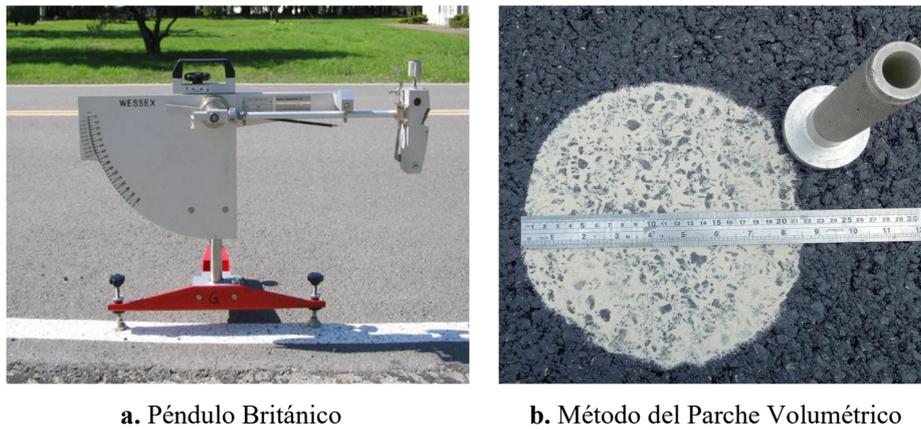
Estos sistemas mencionados anteriormente son costosos y complejos, por lo que surge la necesidad del desarrollo de un dispositivo portátil que proporcione mediciones de adherencia directas y reduzca la posible influencia del operador. Es decir, un dispositivo de ensayo estático que automatice todo el proceso, minimizando errores humanos y mejorando la repetibilidad de las mediciones. Además, equipado con la sensorización necesaria para medir el Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) y la Rugosidad de la superficie, reemplazando métodos tradicionales como el Péndulo Británico o el Método del Parche Volumétrico [11, 12], que también es un proceso muy dependiente de la precisión del operador. Estas dos metodologías, a pesar de sus carencias, se han hecho un hueco importante en la bibliografía [13] y normativa a lo largo de los años.

En este estudio se presentan los primeros resultados obtenidos con este nuevo dispositivo, denominado AFRmeter (Automatic Friction and Roughness meter), comparándolos con los adquiridos con el uso del Péndulo Británico. Las pruebas realizadas en distintas superficies bajo condiciones controladas muestran que el nuevo sistema ofrece mediciones apropiadas, pudiendo ser una herramienta valiosa para futuras investigaciones en seguridad vial y caracterización de pavimentos. Este nuevo dispositivo tiene el potencial de convertirse en un referente para evaluar la adherencia de las superficies, contribuyendo así a mejorar la seguridad y el diseño de infraestructuras viales.

## 2. Dispositivos de medida

Para llevar a cabo los ensayos, utilizaremos dos dispositivos de medición: por un lado, el Péndulo Británico del Laboratorio de Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental (MITMA) y por otro, el AFRmeter desarrollado en este trabajo para medir el Coeficiente de Adherencia y la Rugosidad de la superficie, perteneciente al Área de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Málaga (IMMA).

El Péndulo Británico (véase Figura 1) es un dispositivo mecánico sencillo que cuenta con un brazo oscilante equipado con un patín de caucho como elemento rozador. Su funcionamiento se basa en medir la energía disipada por fricción cuando el patín cae y entra en contacto con la superficie. Durante este proceso, el patín arrastra una aguja indicadora, que queda fija en el punto final del recorrido antes de que el péndulo regrese a su posición inicial. La posición alcanzada por la aguja o la distancia recorrida por el péndulo tras el contacto, se utilizan para calcular el valor de resistencia al deslizamiento (PTV). El tamaño y la geometría del péndulo están definidos por normativa para garantizar la calidad y trazabilidad de los resultados.



a. Péndulo Británico

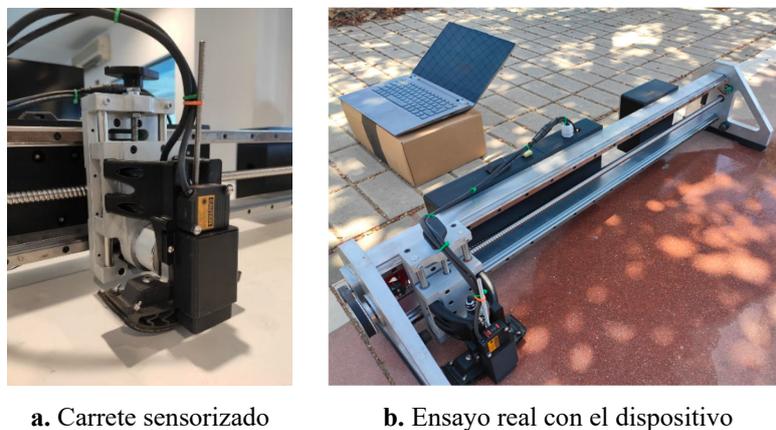
b. Método del Parche Volumétrico

**Figura 1:** Métodos de caracterización de superficie clásicos.

Cuando el péndulo roza la superficie, lo hace aproximadamente sobre un recorrido de 126 mm. El caucho empleado en el ensayo está normalizado y debe presentar un borde de arista limpio de no más de 1 mm. También está definida la carga vertical que el patín debe imprimir sobre la superficie, gracias a un muelle dispuesto para tal fin. El valor de esta fuerza está establecido en 22N aproximadamente cuando la deflexión del muelle alcanza 4.5 mm. La dureza del patín se establece en un valor 57 o 96, según el grado de dureza del caucho IRDH (International Hardness Rubber Degrees).

De manera paralela, el Método de Parche Volumétrico empleado para medir la rugosidad superficial consiste en extender un volumen conocido de arena o esferas de vidrio sobre la superficie con el uso de un pisón de caucho plano normalizado. Una vez que el material se ha distribuido de manera uniforme, se procede a medir en repetidos puntos el diámetro del parche generado. Con el resultado de la media aritmética de los valores medidos, se estima la Profundidad Media de la Textura superficial (MTD).

Todo este esfuerzo de normalización tiene como objetivo garantizar que los ensayos se realicen en las mismas condiciones en todo momento y puedan ser reproducibles por otro equipo en el futuro. Una vez estandarizado el proceso, la simplicidad y relativo bajo costo de estos sistemas hacen que sean de los métodos más empleados a la hora de estudiar el estado de una superficie. Por el contrario, no son procedimientos que representen bien el comportamiento del neumático y en el resultado influye directamente la manipulación del operador.



a. Carrete sensorizado

b. Ensayo real con el dispositivo

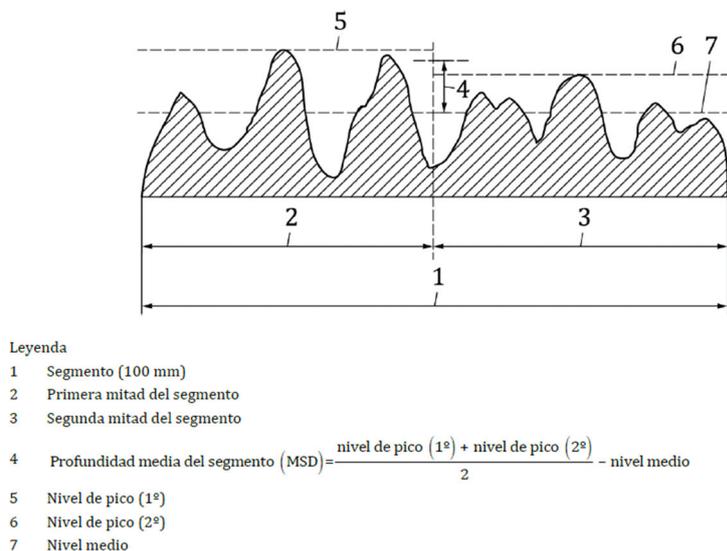
**Figura 2:** Dispositivo de medida de adherencia y rugosidad (AFRmeter).

Ante la situación descrita anteriormente, el dispositivo desarrollado en este estudio se propone como una alternativa al Péndulo Británico y al Método Volumétrico dentro del conjunto de dispositivos de ensayo estáticos y portátiles (Figura 2). Su diseño busca poder caracterizar completamente la superficie (adherencia y rugosidad) y minimizar la incertidumbre asociada a la intervención del operario mediante la automatización del ensayo.

El dispositivo está equipado con un palpador de caucho montado sobre una célula de carga, que permite monitorizar de forma continua las fuerzas vertical y horizontal en el punto de contacto. El movimiento del carrete se logra mediante un motor, lo que garantiza la realización del ensayo a una velocidad constante. Gracias a este sistema, no es necesario cumplir condiciones de puesta en marcha tan estrictas como en el ensayo con péndulo. Además de la medición de adherencia, el equipo incorpora un láser para capturar el perfil de rugosidad de la superficie analizada.

Todo el sistema se encuentra controlado mediante un ordenador en tiempo real que gestiona el movimiento del efector y realiza los ajustes necesarios para la prueba. Una vez comienza el ensayo, se graban todas las variables necesarias para la correcta caracterización de superficie (fuerzas sobre el patín, rugosidad, temperatura ambiente y de superficie, humedad ambiente y geolocalización del punto de medida).

Aunque técnicamente más complejo, el dispositivo se caracteriza por su fácil manejo y portabilidad, gracias a la posibilidad de interactuar con el equipo y gestionar los ensayos realizados a través de un ordenador o una tablet en el mismo momento. La frecuencia de adquisición de los sensores por parte del ordenador principal está establecida de 250 Hz, rango apto para el desarrollo de los ensayos. El dispositivo cuenta con una batería integrada que permite su uso en ensayos de campo.



**Figura 3:** Descripción de la Profundidad Media del Segmento (MSD) (Fuente: UNE EN-ISO 13473-1).

El dispositivo proporciona dos tipos de resultados: por un lado, el Coeficiente de Fricción Dinámico ( $\mu$ ), obtenido cuando ambas superficies presentan movimiento relativo; y por otro, la rugosidad en forma de Perfil de Superficie (mm), a partir del cual es posible derivar las métricas más comunes establecidas en la normativa, como la Profundidad Media del Perfil (MPD), véase Figura 3.

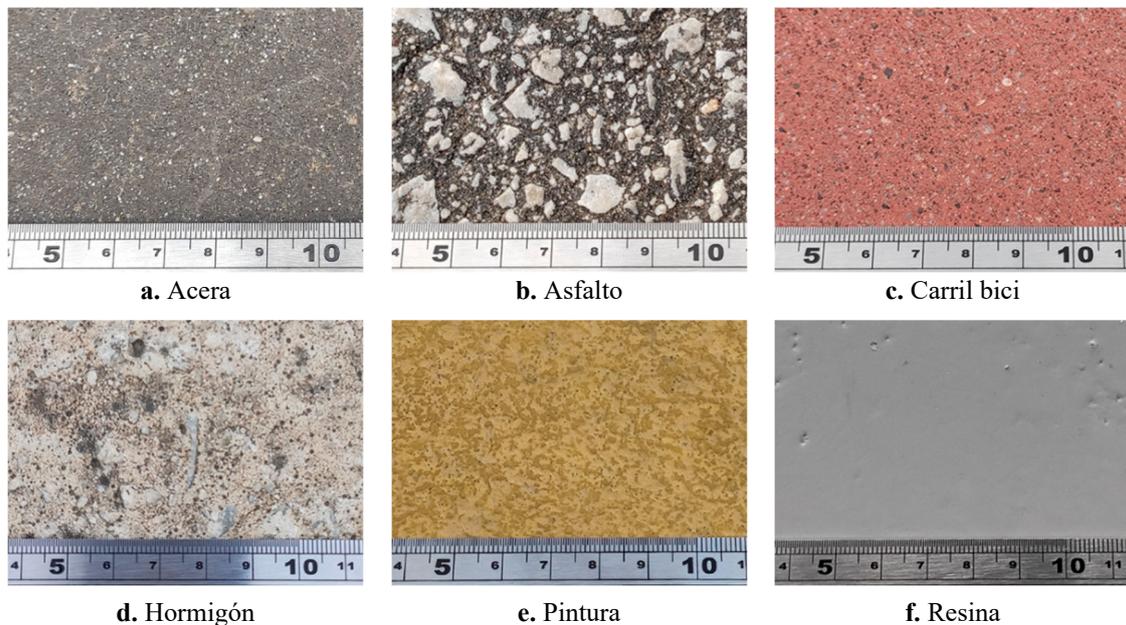
El AFRmeter funciona a velocidades comprendidas en un rango de 0 a 300 mm/s. El patín sensorizado dispone de una célula de carga capaz de soportar hasta 300 N con una resolución de 0.1N. Por su parte, el láser instalado para la captura del perfil de superficie dispone de un alcance de  $40 \pm 10$  mm ofreciendo una resolución de 0.01 mm, por debajo de la mínima definida en la normativa.

El rango de alcance y resolución del láser permite analizar una zona de trabajo que abarca la parte final de la macrotextura (50 a 0.5 mm) y parte de la microtextura ( $<0.5$  mm) superficial. No obstante, esta última no se considera objeto de medición, ya que el láser operará a una velocidad de avance de 12.5 mm/s, y las posibles imperfecciones de la superficie podrían afectar a la calidad del resultado. El sistema de adquisición junto con el láser establece una resolución en el avance de 0.05 mm, suficientes para captar adecuadamente la macrotextura.

El análisis a escala microscópica se reserva para dispositivos más avanzados, diseñados para realizar mediciones con mayor tiempo de exposición (de horas incluso) y una precisión mayor capaz de captar ese rango de la superficie.

### 3. Superficies de ensayo

Para las pruebas de campo se han seleccionado seis tipos de superficie, con el objetivo de abarcar amplias variaciones en el material constructivo, tamaño de grano, irregularidad de la superficie y porosidad (Figura 4). Estos factores son esenciales para evaluar cómo cada tipo de superficie se comporta en condiciones reales de uso. Se han incluido materiales como hormigón, asfalto y resina, cada uno con características que influyen en aspectos como la adherencia, el drenaje de agua y la resistencia al desgaste. Además, se ha considerado la textura y rugosidad de las superficies, que afectan a la fricción y la acumulación de suciedad o agua.



**Figura 4:** Superficies de ensayo.

Las pruebas se realizarán en dos condiciones diferentes (seco y mojado), para recopilar información sobre el agarre en diferentes circunstancias climatológicas. El objetivo es obtener una evaluación completa de cómo responden estas superficies bajo condiciones de uso cotidiano.

**Tabla 1:** Propiedades de superficie.

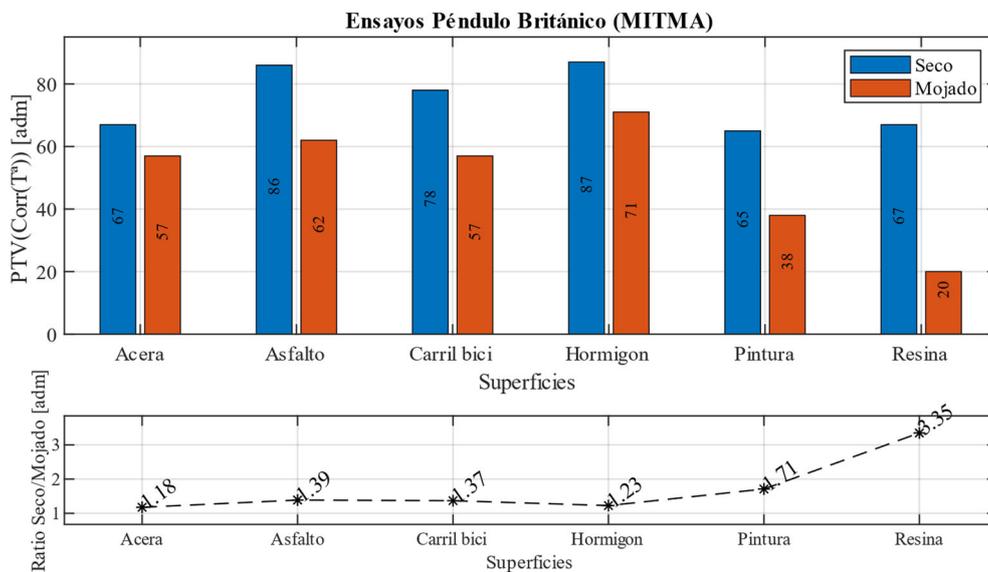
Superficie	Tamaño de grano	Irregularidad	Porosidad
Acera	3	2	3
Asfalto	5	5	5
Carril Bici	3	2	4
Hormigón	4	4	6
Pintura	2	3	2
Resina	1	1	1

Las características principales de cada superficie se evaluarán ordenándolas de menor a mayor en base al estado observado de las superficies (véase Tabla 1). Esta comparación previa a los ensayos aportará información relativa del desempeño de cada superficie, facilitando la toma de decisiones a la hora de planificar los ensayos y la posterior validación de los resultados.

## 4. Experimentos y resultados

Como se ha indicado anteriormente, para este trabajo se han sometido a ensayo seis superficies diferentes en condiciones de seco y mojado. Cada superficie ha sido ensayada empleando dos equipos de trabajo: el Péndulo Británico y el AFRmeter, propuesto en este trabajo para el análisis de adherencia y rugosidad de superficie.

En primer lugar, se presentan los resultados obtenidos con el Péndulo Británico. Este dispositivo proporciona una única medida que resume los resultados de las diferentes pasadas del péndulo sobre la superficie. Según normativa, se deben realizar al menos cinco pasadas. Si las diferencias entre estas pasadas no superan las tres unidades, se registra el valor; de lo contrario, se repite el proceso hasta obtener tres lecturas constantes. La superficie de trabajo tiene una longitud normalizada de aproximadamente 126 mm y el péndulo se desplaza sobre ella a una velocidad máxima próxima a los 3 m/s.

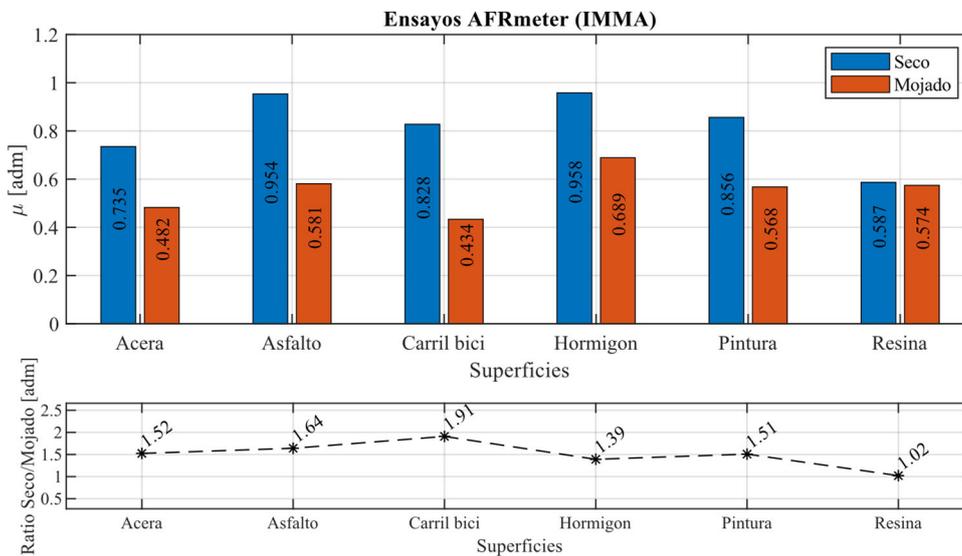


**Figura 5.** Resultados obtenidos del Péndulo Británico y ratio entre condiciones de ensayo.

Los valores mostrados en la Figura 5 son el resultado del ensayo de las distintas superficies ofrecido por el equipo de trabajo del Péndulo Británico. Los resultados están corregidos frente a la influencia de la temperatura como está recogido en la norma. Además, se muestra la ratio de agarre seco sobre mojado entre las dos condiciones de superficie con el mismo sistema de medición.

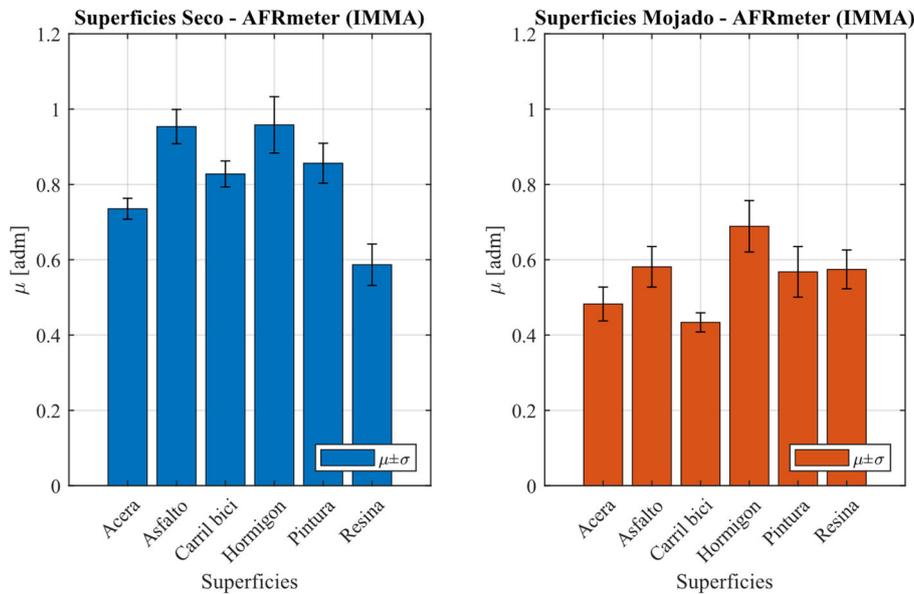
Por su parte, los ensayos realizados con el AFRmeter ofrecen una medida basada en la adquisición continua de información. El dispositivo ensaya cada superficie de manera continua, estableciendo un rango de desplazamiento de 700 mm para la carrera del dispositivo. Durante este tiempo, el sistema de adquisición recaba los datos de todos los sensores con una frecuencia de adquisición de 250 Hz. Por cada ensayo se realizan 10 pasadas sobre el total de la superficie.

La carga vertical inicial se impone mediante un sistema que trata de mantener estable la presión que el caucho ejerce sobre la superficie. Se establece una carga inicial de 40 N sobre el carrete sensorizado. Los ensayos son realizados a una velocidad de 125 mm/s durante todo el recorrido.



**Figura 6.** Valores de Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) obtenidos por el dispositivo AFRmeter.

En la Figura 6 se muestra el resultado final alcanzado por el AFRmeter para el Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) de cada una de las superficies bajo las dos condiciones de ensayo. De igual manera que con el sistema anterior, se refleja la ratio de agarre seco sobre mojado para este sistema.

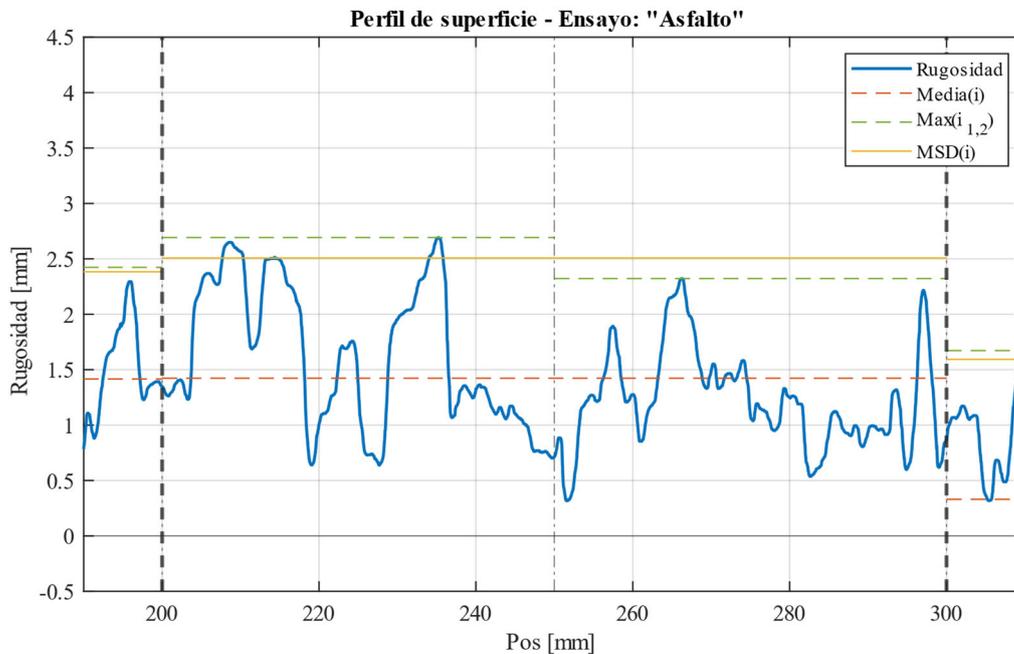


**Figura 7.** Estadística de los valores de Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) obtenidos con AFRmeter.

La Figura 7 concentra toda la información de los ensayos del Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) para cada superficie con la dispersión típica ( $\sigma$ ) asociada a cada ensayo. En este caso son resultado del tratamiento de miles de datos recabados durante la duración del ensayo gracias al sistema de adquisición del dispositivo. Los resultados presentan un rango de dispersión contenido, siendo éstos de un orden de magnitud inferior al propio valor del Coeficiente de Fricción ( $\mu$ ) resultante.

Para estos resultados no se contempla corrección de temperatura dado que no se dispone de la base de conocimiento y pruebas suficientes para tal fin. Para actuar contra la posible dispersión debida a la temperatura, todos los ensayos se han realizado a temperatura controlada en un rango de  $20 \pm 5$  °C.

La segunda parte del ensayo contempla el estudio de la rugosidad para realizar un perfil de superficie completo de la zona de ensayo (Figura 8). Para el desarrollo de estos ensayos, se ha establecido una velocidad de avance reducida de 12.5 mm/s y se ha hecho trabajar únicamente al dispositivo láser, permaneciendo el palpador de caucho en una posición elevada. Las superficies han sido ensayadas un total de seis veces.



**Figura 8.** Muestra del perfil de superficie generado por el medidor láser.

**Tabla 2.** Resumen de medidas del perfil de superficie obtenidos con AFRmeter.

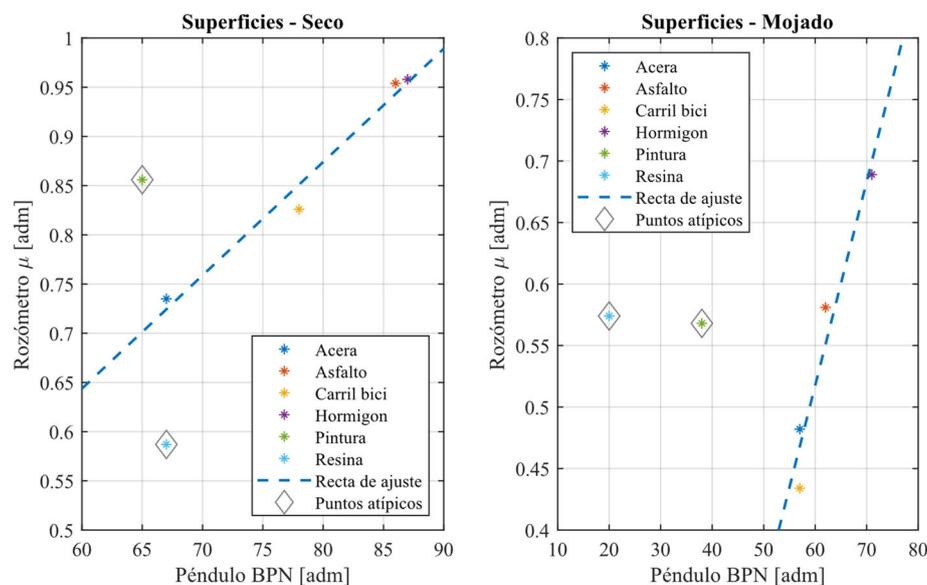
Parámetro	Acera	Asfalto	Carril bici	Hormigón	Pintura	Resina
MPD	0.217	1.050	0.274	0.964	0.299	0.184
ETD_1	0.374	1.040	0.417	0.971	0.439	0.347
ETD_2	0.239	1.155	0.298	1.060	0.328	0.202

La evaluación de la superficie se ha basado en la determinación de la “Profundidad Media del Perfil” (MPD), según queda descrito en la norma. En ella se definen los distintos rangos representativos de la superficie, así como la metodología de ensayo y parámetros representativos. También se obtendrá la “Profundidad Estimada de la Textura” (ETD) que es una estimación del resultado que se obtendría mediante el Método Volumétrico. Según recoge la norma este parámetro tiene dos posibles definiciones, véase Tabla 2.

## 5. Discusión

A la vista de los resultados preliminares, extraídos de los ensayos de superficie, se revelan un par de hechos interesantes. En primer lugar, cabe destacar el comportamiento repetible y estable de las medidas realizadas con el nuevo dispositivo. Este hecho lo podíamos observar en el análisis estadístico de las medidas de ensayo donde la dispersión de los datos se muestra contenida (véase Figura 7), lo cual tras muchos ensayos denota su buen funcionamiento e independencia del operador, logrando con ello uno de los objetivos de este trabajo.

En segundo lugar, el cruce de los resultados obtenidos por cada uno de los sistemas parece reflejar una correlación adecuada para cierto tipo de superficies. En algunos trabajos se menciona la existencia de dicho vínculo, lo cual parece denotar que los resultados del dispositivo AFRmeter son adecuados. Dicha relación no responde a una correlación universal entre el Coeficiente de Fricción y el BPN, pues depende de la interacción entre materiales (patín y superficie). Además, es conocido que la calidad de medida del péndulo se ve comprometida con materiales con macrotextura grande o materiales con comportamiento no lineal (por ejemplo, resina epoxi o polímeros). Por este motivo se recomienda recalibrar este ajuste para cada familia de materiales.

**Figura 9.** Correlación de resultados entre el Péndulo Británico y el AFRmeter.

Como puede apreciarse en la Figura 9, cuatro de las superficies estudiadas responden al comportamiento mencionado, alineándose en una correlación clara. Estas superficies tienen en común que presentan una textura árida, con un tamaño de grano fino o medio y una porosidad alta. Ambos sistemas han captado de manera similar la capacidad de agarre de las superficies referidas para las dos condiciones de ensayo. Por otro lado, las dos superficies restantes (y divergentes a esta relación) son superficies sintéticas con cobertura de pintura o resina que elimina su porosidad y presentan un acabado muy liso. Este hecho puede provocar un comportamiento extraño en los resultados obtenidos por el Péndulo Británico y de igual manera puede afectar al AFRmeter, desvirtuando el resultado obtenido. Este tipo de casos los recoge la literatura como conflictivos a la hora de realizar mediciones con péndulo, recomendándose el uso de otro tipo de sistemas tribológicos.

En el caso de la Resina se presentan las mayores discrepancias entre sistemas. Por su parte, el péndulo predice un gran descenso de la adherencia en mojado para esta superficie, hecho que puede deberse a que la microtextura es muy lisa y homogénea por lo que el patín puede deslizar sobre el agua sin agarre. En contraposición, con el AFRmeter el resultado obtenido en ambos casos es prácticamente igual. Este hecho puede ser explicado debido a

la menor velocidad de avance del carrete y que, al tratarse de una superficie no porosa, el agua es apartada sin infiltrarse en la superficie, generándose la misma situación de contacto que en seco. Similar a como sucedería con el agua evacuada en las acanaladuras del neumático de un vehículo.

**Tabla 3.** Coeficientes de ajuste lineal ( $f(x) = p1*x+p2$ ).

Ensayos	p1		p2	R
	-	%		
Seco	0.012	1.150	-0.047	0.975
Mojado	0.017	1.660	-0.477	0.938

Los resultados del ajuste de la correlación entre los valores obtenidos del Péndulo Británico y el AFRmeter pueden verse en la Tabla 3. El ajuste ha sido realizado excluyendo las dos superficies conflictivas descritas anteriormente.

En lo que a medidas de rugosidad de refiere, las capacidades del láser instalado en el equipo demuestran una amplia solvencia para capturar la macrotextura superficial (véase Tabla 2), incluso algunos detalles de la microtextura los cuales también tienen influencia en la adherencia con el caucho.

El análisis del perfil obtenido, basado el promedio de una nube de puntos generada en sucesivas pasadas sobre la superficie, tiene suficiente entidad como para poder descartar el uso de sistemas tradicionales como el Método Volumétrico. Se ha evaluado la superficie con los criterios recogidos en la normativa vigente obteniendo resultados coherentes, pero sin la profundidad de un trabajo específico o más extenso sobre el tema. Los resultados muestran una ordenación correcta del perfil de superficie basándose en las primeras observaciones y las medidas obtenidas.

## 6. Conclusiones

En este trabajo se han presentado los primeros resultados obtenidos con un nuevo dispositivo desarrollado para facilitar la labor de caracterización de superficie aplicada a estudios de dinámica vehicular o infraestructuras viales.

El dispositivo ha demostrado un rendimiento adecuado, proporcionando datos de adherencia y rugosidad estables y consistentes. Aunque se encuentra en el ámbito de los dispositivos de medición estáticos, es un equipo portátil con un sistema de adquisición integrado y un proceso completamente automatizado. Esto mejora las capacidades de dispositivos ampliamente utilizados en investigación como el Péndulo Británico o el Método Volumétrico.

Se ha logrado realizar la validación de las medidas obtenidas comprobando la correlación con los sistemas de referencia empleados. Lográndose de este modo una herramienta valiosa y útil para futuras investigaciones en seguridad vial y caracterización de superficie. Este nuevo dispositivo tiene el potencial de convertirse en un referente para evaluar la adherencia de las superficies, contribuyendo así a mejorar la seguridad del automóvil y el diseño de infraestructuras viales.

Como trabajos futuros, cabría estudiar la influencia de parámetros como la carga aplicada sobre la superficie, la temperatura o la velocidad de avance del dispositivo de medición. Asimismo, convendría elaborar una base de datos amplia para poder parametrizar la influencia de estos factores. También podría estudiarse en profundidad la información de rugosidad para analizar como influyen la micro o macrotextura en los resultados de adherencia de la superficie.

## 7. Bibliografía

- [1] Chen, S., Liu, X., Luo, H., Yu, J., Chen, F., Zhang, Y., ... & Huang, X. "A state-of-the-art review of asphalt pavement surface texture and its measurement techniques", *Journal of Road Engineering*, 2(2), 156-180 (2022)
- [2] Zúñiga-García, N., Smit, A., & Prozzi, J., "Cuantificación de la macro-y micro-textura del pavimento para la estimación de fricción", (2017)
- [3] Mahboob Kanafi, M., Kuosmanen, A., Pellinen, T. K., & Tuononen, A. J., "Macro-and micro-texture evolution of road pavements and correlation with friction", *International Journal of Pavement Engineering*, 16(2), 168-179 (2015)
- [4] Wambold, J.C.; Antle, C.E., "International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements", Permanent International Association of Road Congresses PIARC, Paris, France (1995)
- [5] Torbruegge, S., & Wies, B., "Characterization of pavement texture by means of height difference correlation and relation to wet skid resistance", *Journal of traffic and transportation engineering*, 2(2), 59-67, (2015)
- [6] Chu, L., Guo, W., & Fwa, T. F., "Theoretical and practical engineering significance of British pendulum test", *International Journal of Pavement Engineering*, 23(1), 1-8 (2022)
- [7] Guo, W., Chu, L., & Fwa, T. F., "Mechanistic harmonization of British pendulum test measurements.", *Measurement*, 182, 109618 (2021)

- [8] UNE-EN 13036-4, “Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos de ensayo. Parte 4. Medición de la resistencia al deslizamiento/derrape”. Ensayo del péndulo. AENOR, Madrid, 2012
- [9] Mataei, B., Zakeri, H., Zahedi, M., & Nejad, F. M. “Pavement friction and skid resistance measurement methods: A literature review”, *Open Journal of Civil Engineering*, 6(04), 537 (2016)
- [10] Guo, F., Pei, J., Zhang, J., Li, R., Zhou, B., & Chen, Z., “Study on the skid resistance of asphalt pavement: A state-of-the-art review and future prospective”, *Construction and Building Materials*, 303, 124411 (2021)
- [11] UNE-EN 13036-1, “Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos de ensayo. Parte 1. Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método volumétrico”, AENOR, Madrid, 2010
- [12] UNE-EN ISO 13473-1, “Caracterización de la textura de los pavimentos mediante el uso de perfiles de superficie. Parte 1: Determinación de la profundidad media del perfil”. AENOR, Madrid, 2021
- [13] Ruiz, L. P., & González, S. J. Y., “Correlación de medidas de macrotextura tomadas con el método volumétrico y con diferentes texturómetros láser”, *Ingeniería civil*, (169), 23-40 (2013)