

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2021

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-21-GIJON-1-16

1. Datos del proyecto

Título: **Diseño de una metodología para la evaluación de la seguridad y eficiencia en la interacción vehículo-pavimento.**

Fechas inicial y final del proyecto: **01-2021 a 12-2021**

Investigador/a Principal: **Daniel Álvarez Mántaras**

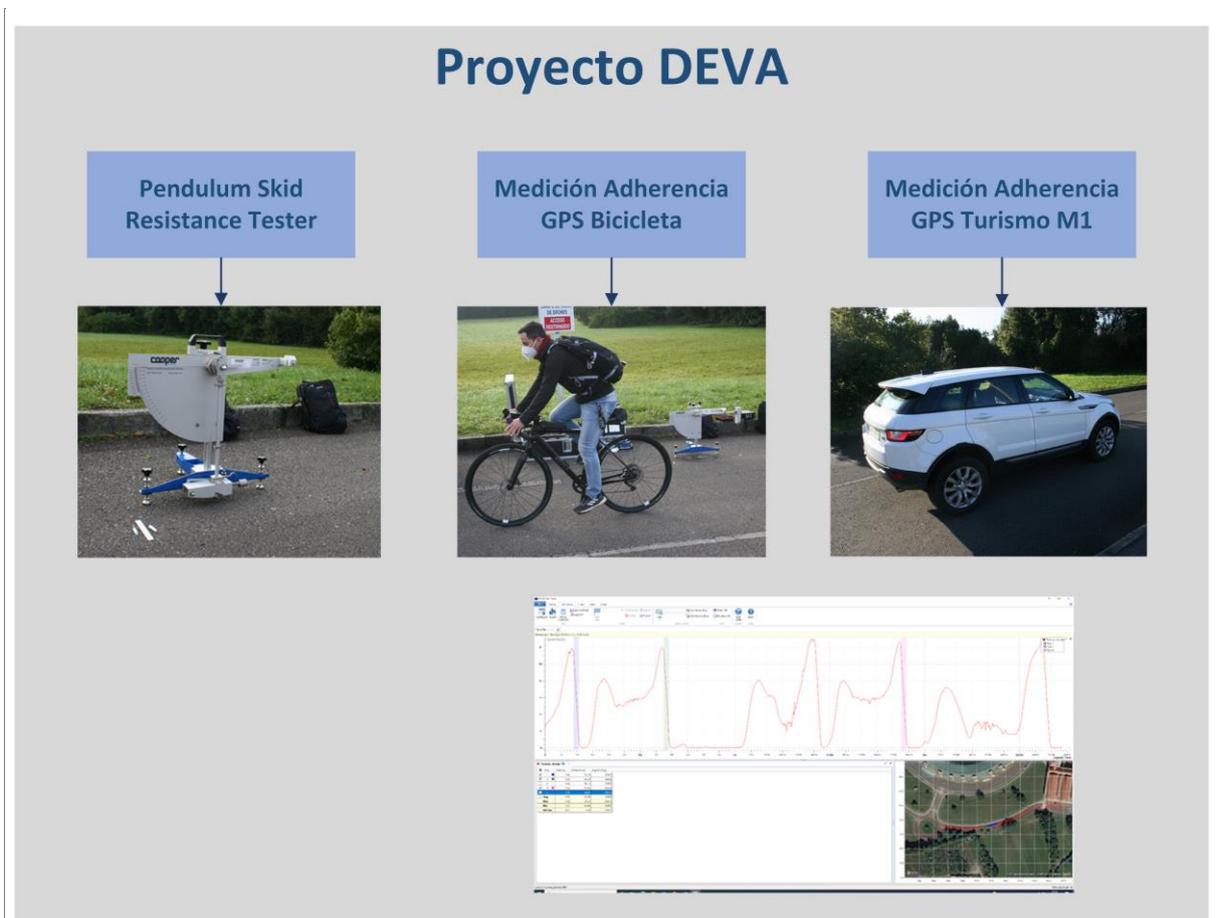
Otros investigadores: **Pablo Luque Rodríguez, Luis Ángel Sañudo Fontaneda y Jorge Rocés García**

Personal contratado: **Celia Delgado Durán**

Fechas inicial y final de contratación: **10-2021 a 12-2021**

Empresas o instituciones colaboradoras: **Pavitek**

2. Resumen Gráfico



3. Memoria descriptiva del proyecto

3.1 Resumen ejecutivo

Se ha desarrollado una metodología para la evaluación objetiva de adherencia disponible en función del tipo de vehículo y tipo de pavimento. El trabajo realizado durante la ejecución del proyecto ha consistido en:

- Revisión del estado de la técnica. Esta revisión se ha centrado en las metodologías y normas para la evaluación de la adherencia en carretera y metodologías de ensayo de vehículos para evaluación de la seguridad activa.
- Definición de protocolos de ensayo. En este caso se ha llevado a cabo la puesta en marcha de un equipo de medición de adherencia (péndulo británico) adquirido durante la ejecución del proyecto. Para relacionar los resultados de las mediciones realizadas con este equipo con la seguridad de los vehículos, se han desarrollado protocolos de ensayo específicos para varios tipos de vehículos.
- Realización de Ensayos de campo. Se han llevado a cabo ensayos en diferentes viales, utilizando un péndulo británico y dos tipos de vehículos de carretera (vehículo turismo M1 y bicicleta). En el caso de los vehículos se han equipado con dispositivos GPS de alta frecuencia que permiten determinar la aceleración en los diferentes ensayos realizados.
- Evaluación de los resultados y correlación entre el método estático con péndulo británico y la adherencia utilizada por los vehículos (vehículo M1 y bicicleta).

A continuación, se presenta de forma resumida parte del desarrollo y resultados de las tareas realizadas en el proyecto.

Tras la revisión del estado de la técnica, se planifica un ensayo mediante péndulo británico seguirá lo indicado en la norma ASTM E 303-93, con el patín definido en ASTM E 501-08.



Figura 1. Ensayos con péndulo británico.

El protocolo de ensayo definido para vehículos de categoría M1 se basa en el descrito en el Reglamento nº117 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) relativo a la homologación de neumáticos por lo que se refiere a la adherencia en superficie mojada.

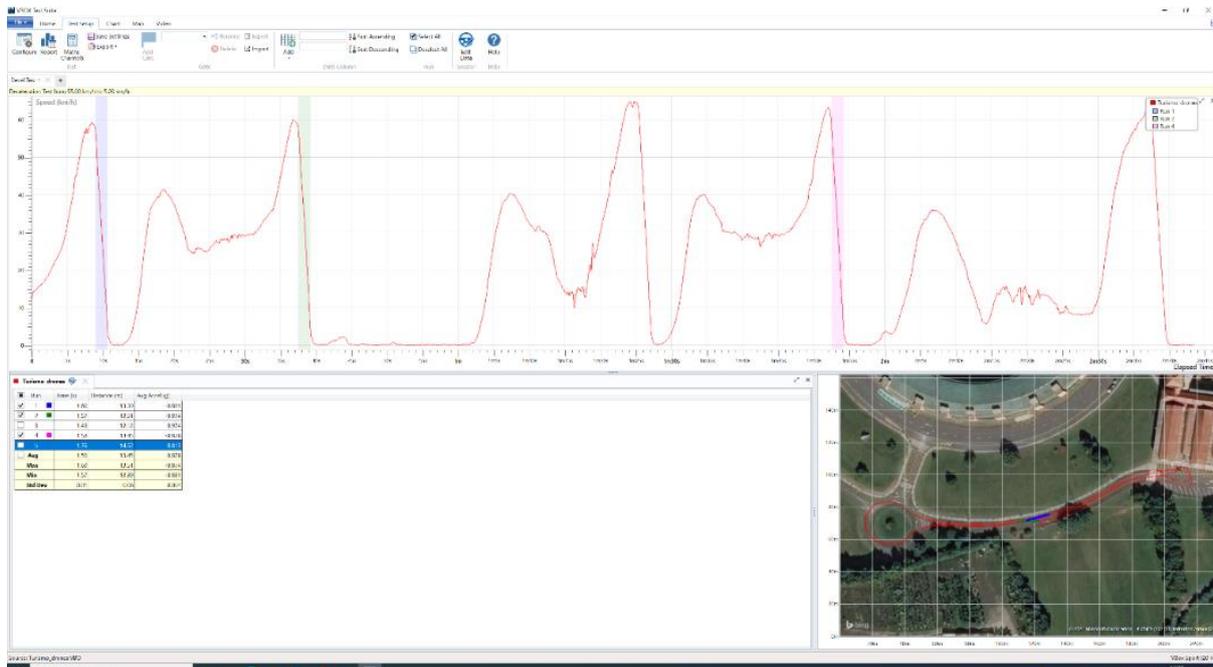


Figura 2. Ensayos con vehículo M1 en vía de acceso a Edificio Departamental Este.

Este ensayo consiste en la realización de frenadas a partir de una velocidad un 10% superior a la correspondiente al límite de velocidad de la vía. A partir de una velocidad inicial, se aplicará al mando del freno de servicio una fuerza constante suficiente para provocar el funcionamiento del ABS en todas las ruedas del vehículo y para causar una deceleración estable del vehículo; dicha fuerza se mantendrá hasta que el vehículo se pare.

El ensayo de frenado se realizará con la transmisión desembragada en caso de transmisión manual o con el selector en posición neutra en el caso de transmisión automática

La deceleración media desarrollada entre la velocidad máxima de la vía y 10 km/h se calculará a partir de un mínimo de 3 resultados válidos. Para que los resultados se consideren válidos, el coeficiente de variación determinado mediante la desviación típica dividida por la media de los resultados, expresado como porcentaje, se situará en el 3 % como máximo.

El protocolo de ensayo definido para vehículos de dos ruedas se basa en el descrito en el Reglamento nº78 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) relativo a la homologación de vehículos de las categorías L1, L2, L3, L4 y L5 con relación al frenado.

El ensayo comprende varias frenadas realizadas ejerciendo diversas fuerzas sobre el mando de freno; deberán frenarse ambas ruedas simultáneamente hasta el punto alcanzado antes de que se bloqueen, a fin de obtener la tasa máxima de desaceleración del vehículo sobre la superficie de ensayo de que se trate.

La tasa máxima de desaceleración del vehículo es el valor más elevado registrado en todas las frenadas de ensayo.

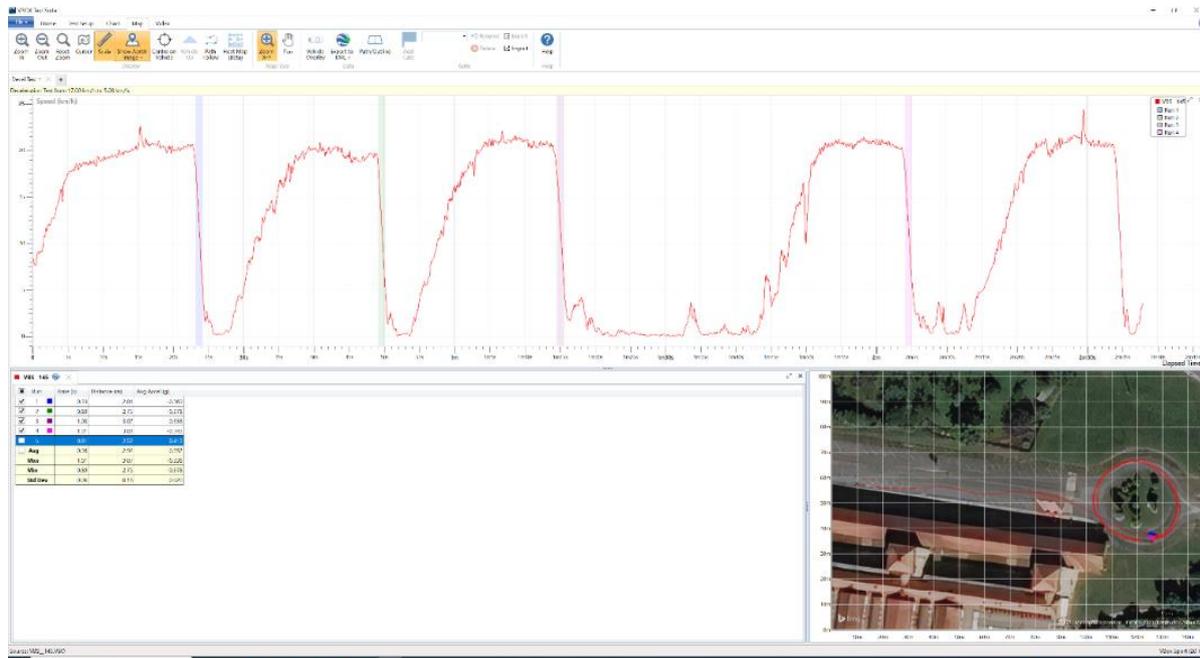


Figura 3. Ensayos con bicicleta en glorieta calle Wilfredo Ricart.

En este caso, la velocidad de ensayo será un 10% superior a la correspondiente al límite de velocidad de la vía o la máxima del vehículo. Se calculará la deceleración media desarrollada entre la velocidad máxima de la vía (o 0,9 de la velocidad máxima del vehículo) y 5 km/h. Los ensayos se repetirán hasta que el vehículo alcance su tasa máxima de desaceleración.

En ambos casos, la aceleración obtenida en unidades de g se considerará como la adherencia máxima utilizada por el vehículo. Parámetro que se correlacionará con el obtenido mediante péndulo británico.

3.2 | Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de una metodología para la evaluación objetiva de la eficiencia y seguridad de circulación de vehículos de carretera sobre diferentes tipos de pavimentos. Esta metodología sería aplicable tanto a vehículos convencionales como a los vehículos de movilidad personal o vehículos de movilidad urbana.

La seguridad de un vehículo está directamente relacionada con la adherencia disponible en la interacción neumático-carretera. Por tanto, las tareas desarrolladas en la actualidad se han dirigido a la definición de protocolos de ensayo y ejecución de los mismos, con el objeto de obtener un método objetivo de evaluación de la seguridad mediante la adherencia disponible para cada tipo de vehículo.

Los métodos tradicionales de medir la adherencia mediante dispositivos como el péndulo británico solo caracterizan la superficie de contacto. Sin embargo, no tienen en cuenta las particularidades de cada vehículo (masas, tipo de sistema de freno, neumático, etc). Con los resultados obtenidos en el proyecto se demuestra la necesidad de considerar el vehículo a la hora de caracterizar la adherencia de una superficie.

Por tanto, se constata la necesidad de desarrollar una metodología que correlacione una medida objetiva de la adherencia con las prestaciones de seguridad de los vehículos.

El objetivo inicial del proyecto contemplaba la realización de ensayos con diferentes tipos de vehículos y superficies. Debido a la demora en el inicio del proyecto, los trabajos se han desarrollado sobre dos tipos de vehículos y superficies de asfalto. En todo caso, la metodología propuesta es aplicable de forma directa a otros vehículos y superficies, demostrando las hipótesis inicialmente planteadas.

Por otro lado, queda pendiente la realización de ensayos para caracterizar la resistencia al avance en diferentes tipos de pavimentos. No ha sido posible el desarrollo de este objetivo debido a que solo se han realizado ensayos sobre asfalto.

3.3 Tareas realizadas

Las tareas realizadas han sido las siguientes:

- Revisión del estado de la técnica. Esta revisión se ha centrado en las metodologías y normas para la evaluación de la adherencia en carretera y metodologías de ensayo de vehículos para evaluación de la seguridad activa.
- Definición de protocolos de ensayo. En este caso se ha llevado a cabo la puesta en marcha de un equipo de medición de adherencia (péndulo británico) adquirido durante la ejecución del proyecto. Para relacionar los resultados de las mediciones realizadas con este equipo con la seguridad de los vehículos, se han desarrollado protocolos de ensayo específicos para varios tipos de vehículos.
- Ensayos de campo. Se han llevado a cabo ensayos en diferentes viales, utilizando un péndulo británico y dos tipos de vehículos de carretera (vehículo turismo M1 y bicicleta). En el caso de los vehículos se han equipado con dispositivos GPS de alta frecuencia que permiten determinar la aceleración en los diferentes ensayos realizados.
- Evaluación de los resultados y correlación entre el método estático con péndulo británico y la adherencia utilizada por los vehículos (vehículo M1 y bicicleta).

En lo relativo a la revisión del estado de la técnica, es relevante lo relacionado con normas y artículos relacionados con el proyecto

Normas técnicas utilizadas para el desarrollo del estudio:

- UNE-EN 13036-4, Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape. Ensayo del péndulo.
- NLT-175/88, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL.
- E-303-93, Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester.
- EN-13036-4, Método para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie: Método de ensayo del péndulo.

También representan unas referencias bibliográficas representativas los siguientes artículos técnicos:

* Qing Lu and Bruce Steven (2006). Friction Testing of Pavement Preservation Treatments: Literature Review. Technical Memorandum: UCPRC-TM-2006-10.

https://www.researchgate.net/publication/270567713_Friction_Testing_of_Pavement_Preservation_Treatments_Literature_Review

* Harry Rodin III, Somayeh Nassiri, Mina Yekkalar, Othman Alshareedah, y Liv Haselbach (2017).

Guidelines for pervious concrete sidewalks, parking lots, and shared-use paths to improve driver, biker, and pedestrian safety. <http://hdl.handle.net/1773/43524>

* Khashayar Jafari (2017). Interface between Tire and Pavement. Journal of Materials in Civil Engineering 29(9). DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001963

* Ahmad Alhasan, Omar Smadi, Georges Bou-Saab, Nacu Hernandez y Eric Cochran (2018). Pavement Friction Modeling using Texture Measurements and Pendulum Skid Tester. Journal of Materials in Civil Engineering 29(9). DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001963

Otros documentos relacionados:

Manual proporcionado por el fabricante del péndulo, Cooper Research Technology Limited, Cooper Pendulum skid tester.

En lo relativo a los protocolos de ensayos, se ha trabajado tanto en aspectos relacionados con el péndulo como en ensayos con diferentes vehículos. Con relación a los ensayos con el péndulo, se han empleado los siguientes materiales para el ensayo

- Péndulo TRRL, el cual está compuesto por: su base; el brazo del péndulo más el pie donde se coloca el patín; una aguja medidora; botón de bloqueo y desbloqueo para accionar la oscilación del péndulo; escalas de medida F y C; nivel de burbuja; y distintos tornillos para el ajuste del péndulo.
- Patín de caucho ancho o estrecho según las características del terreno.
- Regla y tizas.
- Pulverizador de agua.
- Termómetro de infrarrojos digital.

El método de ensayo implica, inicialmente la elección área de estudio. Según las indicaciones de la norma mencionada, UNE-EN 13036-4, se deben escoger al menos tres superficies de estudio, las cuales no deben estar a más de 400 milímetros una de la otra. Una vez seleccionada el área de estudio se debe limpiar de posibles contaminantes antes del montaje del péndulo.

El ensayo se inicia con la preparación del péndulo. Para ello se coloca el péndulo de manera que este oscile en la dirección del tráfico y se nivela mediante la burbuja niveladora sus patas gracias a sus tornillos.

Primero se debe calibrar el péndulo, para ello se sube el conjunto del brazo y el pie de manera que el patín no toque la superficie al dejarlo caer. A continuación, se coloca el péndulo y la aguja medidora en la posición inicial, se acciona el desbloqueo del péndulo y este arrastra la aguja medidora hasta la escala. Si la aguja se posiciona por debajo de la marca del cero, se deberá apretar la arandela de rozamiento, por el contrario, si la aguja no llega se deberá aflojar la arandela. Este procedimiento se repetirá cuantas veces sean necesarias hasta conseguir posicionar la aguja en cero un mínimo de dos veces consecutivas.

Una vez hecha la calibración se ajusta el brazo del péndulo para que el patín recorra toda la superficie de deslizamiento. Se debe tener en cuenta que al usar el patín estrecho la longitud de deslizamiento será de 76 ± 1 mm, y para el patín ancho 126 ± 1 mm. Para ello llevamos el péndulo hacia la derecha, se deja caer suavemente y se marca el punto en el que el caucho del patín tiene el primer contacto con la superficie. Una vez marcado el primer punto de contacto se levanta la palanca de elevación del patín y se desplaza hacia la izquierda, se vuelve a dejar caer suavemente para marcar esta vez el final de contacto del patín, estas dos marcas deben coincidir con las longitudes de deslizamiento ya mencionadas. Además, una vez se tenga ajustado el péndulo se puede afinar más el ajuste mediante el tornillo del pie.

Antes de comenzar el ensayo se debe humedecer tanto el área de estudio como el patín para trabajar en las condiciones más desfavorable, además también se debe medir la temperatura de la superficie de estudio

y del patín, ya que en el caso de que se encuentre por encima de 40 °C o por debajo de 5°C el ensayo no podrá realizarse.

Para comenzar a medir se coloca el péndulo en su posición inicial y se acciona el desbloqueo, este oscilará arrastrando consigo la aguja. Una vez la aguja se pare y el péndulo retroceda se recogerá el brazo del péndulo antes de llegar a la vertical de este, ya que si no la aguja se moverá y se perderá la medida. Se registra el valor obtenido redondeando al número entero más próximo. Este procedimiento se repetirá mínimo cinco veces y se realizará la media de los valores obtenidos.

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta serán:

- Siempre que sea posible se usará el patín ancho, a no ser que la superficie de estudio no sea homogénea y solo se disponga de un área suficiente para el patín estrecho.
- Si se usa el patín estrecho la escala sobre la que se recogerán las medidas será la exterior, escala F, estas medidas deberán ser corregidas multiplicando por un coeficiente de 1.1. Si por el contrario se usa el patín ancho se tomarán las medidas de la escala interior, escala C, estas son directas, no necesitan corrección.
- Si al oscilar el péndulo se mueven sus pies de la superficie se deberá colocar un peso sobre ellos para evitar el movimiento, pero sin perder la horizontalidad de la base.
- Si alguna medida de las obtenidas en el ensayo difiere en tres unidades del resto se debe realizar tres nuevas medidas, si no hay diferencia se registran.
- Si se utiliza el patín 57 y la temperatura es distinta de 20°C es necesario hacer una corrección de los valores obtenidos con el péndulo según la temperatura medida.

El protocolo de ensayos incluye un programa experimental de ensayo de deceleración máxima con diferentes vehículos. En este proyecto se han implementado ensayos con dos tipos de vehículo:

1. Vehículo de 2 ruedas: Bicicleta
2. Vehículo de 4 ruedas: Turismo (M1)

Para la monitorización de los ensayos realizados se ha utilizado el siguiente equipamiento:

- a. Vehículo
- b. Receptor GPS y registrador de alta frecuencia (100Hz) - Racelogic VBoxIII
- c. Receptor GPS y registrador de media frecuencia (10Hz) - Racelogic VBoxSport
- d. Termómetro de infrarrojos digital
- e. Grabación de video/audio

Todos los ensayos han sido registrados mediante la videograbación y la toma de fotografías digitales de alta resolución.

3.4 Resultados obtenidos

Resultados obtenidos con vehículo tipo M1 en diferentes ubicaciones.

| Ubicación | Tipo de superficie | Temperatura (0C) | Magnitud medida (g) |
|-----------|--------------------|------------------|---------------------|
| 1 | Asfalto | 7,2 | 0,871 |
| 2 | Asfalto | 9,4 | 0,637 |

Resultados obtenidos con vehículo de dos ruedas en diferentes ubicaciones.

| Ubicación | Tipo de superficie | Temperatura | Magnitud medida (g) |
|-----------|--------------------|-------------|---------------------|
| 1 | Asfalto | 7,2 | 0,417 |
| 2 | Asfalto | 9,4 | 0,403 |
| 3 | Asfalto | 16 | 0,57 |

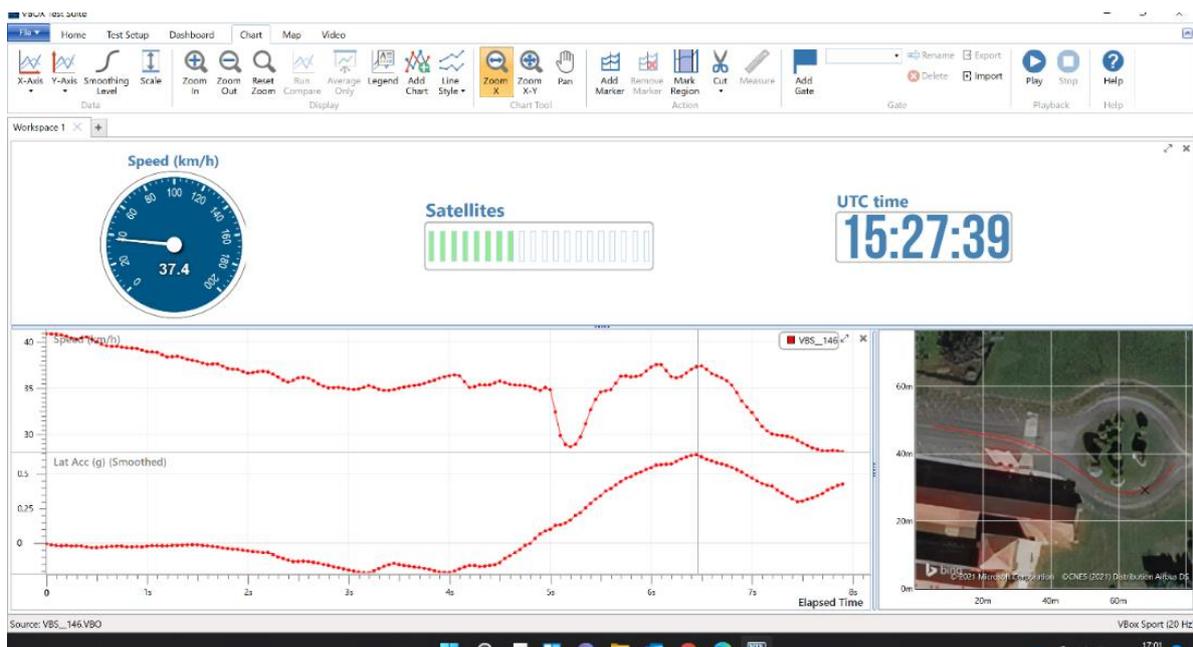


Figura 4. Ensayo de circulación en glorieta, evaluación de la adherencia mediante límite de aceleración lateral (0,63 g).

Resultados obtenidos con péndulo británico.

| Ubicación | Tipo de superficie | Temperatura | Magnitud medida (PTV) |
|-----------|--------------------|-------------|-----------------------|
| 1 | Asfalto | 7,2 | 0,73 escala F |
| 2 | Asfalto | 9,4 | 0,45 escala F |
| 3 | Asfalto | 16 | 76 escala C |



Figura 5. Ensayo con péndulo británico. |

3.5 Trabajos o necesidades futuras

Está previsto completar los objetivos iniciales de proyecto en la próxima anualidad. Los trabajos que se realizarán serán:

- Definición de procedimientos de ensayo para determinar la resistencia a la rodadura en función del tipo de vehículo
- Realización de ensayos con otro tipo de vehículos, pavimentos y condiciones ambientales
- Ajuste y validación de los métricos en base a los ensayos
- Una declaración completa de la validez del método, detallando su aptitud para el uso previsto
- Divulgación de resultados mediante publicación en revista internacional indexada en el Journal Citation Reports (JCR) y congreso internacional |

3.6 Divulgación de los resultados

Está prevista la publicación de resultados en revista internacional indexada en el Journal Citation Reports (JCR) y congreso internacional una vez que se completen las tareas pendientes. |

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

| CONCEPTO | GASTOS |
|--|----------|
| Personal | 3.990 € |
| Fungibles | - |
| Amortización equipos (Péndulo, GPS, PCs, Software) | 547,5 € |
| TOTAL GASTOS | 4537,5 € |

4.2 Ingresos:

| | | |
|--|----------|----------|
| Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato | Concepto | INGRESOS |
| Financiación propia | Equipos | 547,5 |

5. Bibliografía

1. [Wilson, D.B., Woodhouse, F.G., Simpson, M.J. et al. Crowded transport within networked representations of complex geometries. *Commun Phys* **4**, 232 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42005-021-00732-y>
2. UNE-EN 13036-4, Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape. Ensayo del péndulo.
3. NLT-175/88, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL.
4. E-303-93, Standard test method for measuring surface frictional properties using the british pendulum tester.
5. EN-13036-4, Método para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie: Método de ensayo del péndulo.
6. Qing Lu and Bruce Steven (2006). Friction Testing of Pavement Preservation Treatments: Literature Review. Technical Memorandum: UCPRC-TM-2006-10. https://www.researchgate.net/publication/270567713_Friction_Testing_of_Pavement_Preservation_Treatments_Literature_Review
7. Harry Rodin III, Somayeh Nassiri, Mina Yekkalar, Othman Alshareedah, y Liv Haselbach (2017). Guidelines for pervious concrete sidewalks, parking lots, and shared-use paths to improve driver, biker, and pedestrian safety. <http://hdl.handle.net/1773/43524>
8. Khashayar Jafari (2017). Interface between Tire and Pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering* 29(9). DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001963
9. Ahmad Alhasan, Omar Smadi, Georges Bou-Saab, Nacu Hernandez y Eric Cochran (2018). Pavement Friction Modeling using Texture Measurements and Pendulum Skid Tester. *Journal of Materials in Civil Engineering* 29(9). DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001963