

# NUEVO PROCEDIMIENTO BASADO EN LA OBTENCIÓN DE LA DECELERACIÓN MEDIA PARA LA MEJORA DE LA INSPECCIÓN NACIONAL ESPAÑOLA DE FRENOS DE SERVICIO DE TRACTORES

## NEW PROCEDURE BASED ON OBTAINING THE AVERAGE DECELERATION FOR IMPROVING THE SPANISH NATIONAL INSPECTION OF TRACTOR SERVICE BRAKES

Oscar Cuadrado Sempere<sup>1</sup>, Miguel Fabra Rodríguez<sup>1</sup>, Abel Riquelme Navarro Arcas<sup>1</sup>, Francisco Javier Simón Portillo<sup>1</sup>, Miguel Sánchez Lozano<sup>1</sup>, Emilio Velasco Sánchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Elche, I3E. Universidad Miguel Hernández de Elche. [ocuatrado@umh.es](mailto:ocuatrado@umh.es), [mfabra@umh.es](mailto:mfabra@umh.es), [abel.navarro@umh.es](mailto:abel.navarro@umh.es), [f.simon@umh.es](mailto:f.simon@umh.es), [msanchez@umh.es](mailto:msanchez@umh.es), [emilio.velasco@umh.es](mailto:emilio.velasco@umh.es).

---

### RESUMEN

*Este estudio aborda la situación y propone aspectos clave relevantes para perfeccionar el procedimiento de la Inspección Nacional de Vehículos española relativo a los frenos de servicio de los tractores, centrándose específicamente en la obtención de la deceleración media. El método de inspección actual carece de una definición clara del proceso de cálculo de la deceleración media en el Manual Oficial Español de Procedimientos de Inspección de Vehículos. Esta falta de claridad da lugar a resultados diversos y a la posible aceptación o rechazo de la inspección en función del equipo y el procedimiento seleccionados. Para abordar esta cuestión, se llevó a cabo una amplia serie de pruebas en diferentes vehículos, utilizando diversos equipos y métodos de cálculo. El objetivo era obtener conclusiones significativas sobre el método de cálculo, el equipo de medición y otros factores relevantes. Este estudio revela la inadecuación del actual método de cálculo de la deceleración media, tal y como se recoge en el manual de inspección oficial. Los resultados ponen de relieve el papel crucial que desempeñan la selección precisa del equipo, los métodos de cálculo adecuados y la experiencia del personal cualificado para garantizar unos resultados fiables y coherentes. Para abordar esta cuestión, se propone un nuevo procedimiento normalizado para agilizar el proceso de obtención de la deceleración media en la inspección de los frenos de servicio de los tractores. El procedimiento recomendado incluye el uso de una pista segura y bien definida, puntos de aceleración y frenado claramente marcados, un decelerómetro GPS, un velocímetro portátil o en pista, y un procesamiento de datos que excluya las secciones inicial y final de la curva de deceleración. Además, este estudio pone de manifiesto la necesidad de actualizar los umbrales de aceptación de la inspección, ya que es posible que los umbrales actuales ya no se ajusten al procedimiento propuesto. Se sugiere una revisión de estos umbrales para establecer nuevos criterios más adecuados y acordes con el método propuesto y para los tractores fabricados después del 01/01/2016.*

**Palabras clave:** Tractores, pruebas de frenos, inspección de vehículos, seguridad vial.

---

### ABSTRACT

*This study addresses the status and proposes key aspects relevant to refining of the procedure for the Spanish National Inspection of Vehicles relative to tractor service brakes, specifically focusing on obtaining the average deceleration. The current inspection method lacks a clear definition of the calculation process for average deceleration in the Spanish Official Manual of Procedures of*

*Inspection of Vehicles. This lack of clarity results in varying outcomes and potential acceptance or rejection of the inspection based on the selected equipment and procedure. To address this issue, a comprehensive series of tests were conducted on different vehicles, using various equipment and calculation methods. The objective was to derive meaningful conclusions regarding the calculation method, measuring equipment, and other relevant factors. This study reveals the inadequacy of the current average deceleration calculation method as outlined in the official inspection manual. The findings highlight the crucial role of accurate equipment selection, appropriate calculation methods, and skilled personnel experience in ensuring reliable and consistent results. To address this, a new standardized procedure is proposed to streamline the process of obtaining the average deceleration in the inspection of tractor service brakes. The recommended procedure encompasses the use of a secure, well-defined track, clearly marked acceleration and braking points, a GPS decelerometer, a portable or on-track speedometer, and data processing that excludes the initial and final sections of the deceleration curve. Furthermore, this study highlights the need to update the acceptance thresholds for the inspection, as the current thresholds may no longer align with the proposed procedure. A revision of these thresholds is suggested to establish new criteria that are more appropriate and in line with the proposed method and for tractors manufactured after 01/01/2016.*

**Keywords:** Tractors, brake testing, vehicle inspection, road safety.

---

## 1. Introducción

La Inspección Técnica de Vehículos (ITV) en España está regulada por el Real Decreto 920/2017 [1]. El artículo 8 de este decreto designa al "Manual de Procedimientos de Inspección para Estaciones ITV" (en adelante "MIP-TIV") como el documento global que recoge los métodos de inspección, con el objetivo de establecer un procedimiento de inspección armonizado a nivel nacional. El MIP-TIV se somete a revisiones periódicas, siendo la última versión la 7.7.0 de fecha 25 de mayo de 2023. El objetivo principal del MIP-TIV es establecer un conjunto de normas y procedimientos a seguir durante el proceso de inspección, promoviendo la uniformidad de criterios y enfoques entre las diferentes estaciones TIV.

Este estudio se centra en los tractores (vehículos T) contemplados en las Secciones III y IV del PIM-TIV. En particular, en la sección "6.1 Freno de servicio".

Sin embargo, debido a circunstancias específicas relacionadas con estos vehículos, muchos de ellos son incompatibles con el ensayo de frenado en banco de rodillos. En consecuencia, en su lugar se realiza un ensayo de deceleración en pista. En tales casos, el PIM-TIV establece que la eficacia del sistema de frenado debe evaluarse utilizando el parámetro de medición de la deceleración media ( $d_m$ ). El método actual se basa en la normativa, pero no reproduce la prueba. Esto es innecesario porque las estaciones TIV no necesitan rehomologar los vehículos. Las estaciones TIV simplemente verifican si el funcionamiento del sistema de frenado es significativamente eficiente. Por otra parte, el manual no proporciona definiciones ni directrices claras sobre las condiciones de ensayo, la ejecución, el equipo necesario y el análisis de los resultados. En consecuencia, pueden surgir discrepancias significativas en función de la interpretación del procedimiento de prueba. Además, el procedimiento para obtener  $d_m$  se describe de forma genérica en el manual.

### 1.1. Fondo

En un estudio anterior [2], se identificaron varios problemas relacionados con los frenos de los vehículos, junto con la normativa pertinente que regula estos aspectos (Tabla 1, véase la sección: material complementario). Se identificaron dos problemas principales: la falta de procedimientos de inspección claros para las pruebas en pista y que los equipos disponibles en el mercado no ofrecen fácilmente soluciones compatibles que tengan en cuenta la geometría y el comportamiento dinámico únicos de estos vehículos. En la Tabla 1, también se presenta un resumen de los procedimientos y límites de eficacia extraídos de los reglamentos analizados, que servirán de base para la comparación con el procedimiento actual definido en el MIP-TIV.

La desaceleración media puede medirse de diferentes formas. Como podemos ver en algunas de las fuentes consultadas, las más comunes y utilizadas en este estudio son: la medición indirecta a través de la lectura de la velocidad y la posición en el tiempo utilizando tecnología GPS [3] y la medición directa con sensores de tipo acelerómetro [4].

### 1.2. Objetivo

El estudio tiene por objeto evaluar la idoneidad de los procedimientos y equipos existentes para evaluar la funcionalidad del sistema de frenado en TIV. De acuerdo con la normativa vigente, propone un procedimiento perfeccionado para la VIT, que aborda los problemas identificados y especifica las condiciones de la vía, la velocidad inicial de ensayo, los requisitos de registro de datos y los métodos de procesamiento de datos para obtener un valor de deceleración media válido.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Equipos de prueba <sup>1</sup>

En el estudio se utilizaron cuatro equipos portátiles calibrados diferentes para realizar pruebas en pista:

- A: Se refiere al decelerómetro triaxial MAHA® VZM 300. Registra datos de deceleración durante todo el periodo de frenado, realiza un procesamiento interno para obtener la deceleración medida y proporciona datos de registro completos.
- B: Se refiere al desacelerómetro RYME® Brake Check y proporciona el resultado directo de la desaceleración media de frenado, con acceso limitado a los datos completos de la prueba.
- C: Se refiere al decelerómetro auto realizado por una estación TIV y también proporciona sólo salidas directas de resultados.
- D (Referencia): Se refiere al GPS RACELOGIC® VBOXII y registra los datos de velocidad a lo largo del tiempo en el plano horizontal.

### 2.2. Definición del plan de pruebas <sup>2</sup>

Para las pruebas se utilizó una muestra de 6 vehículos y se realizaron pruebas de deceleración en dos pistas de pruebas diferentes (pistas A y B, como se muestra en las figuras 1a a 1d) a velocidades de 15, 25, 35 y la velocidad

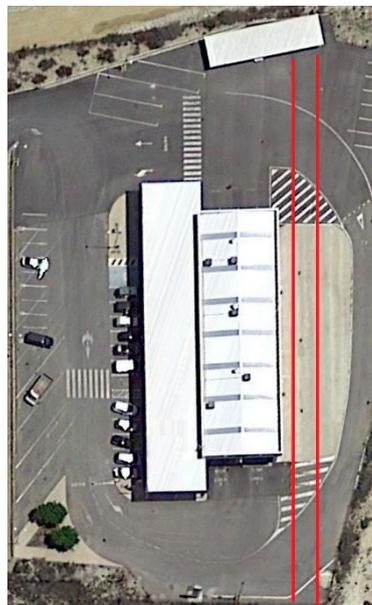
<sup>1</sup> Para más detalles sobre el equipo, consulte la sección 2.1 del material suplementario.

<sup>2</sup> Para más detalles sobre los vehículos, consulte la tabla 2 de la sección 2.2 del material suplementario.

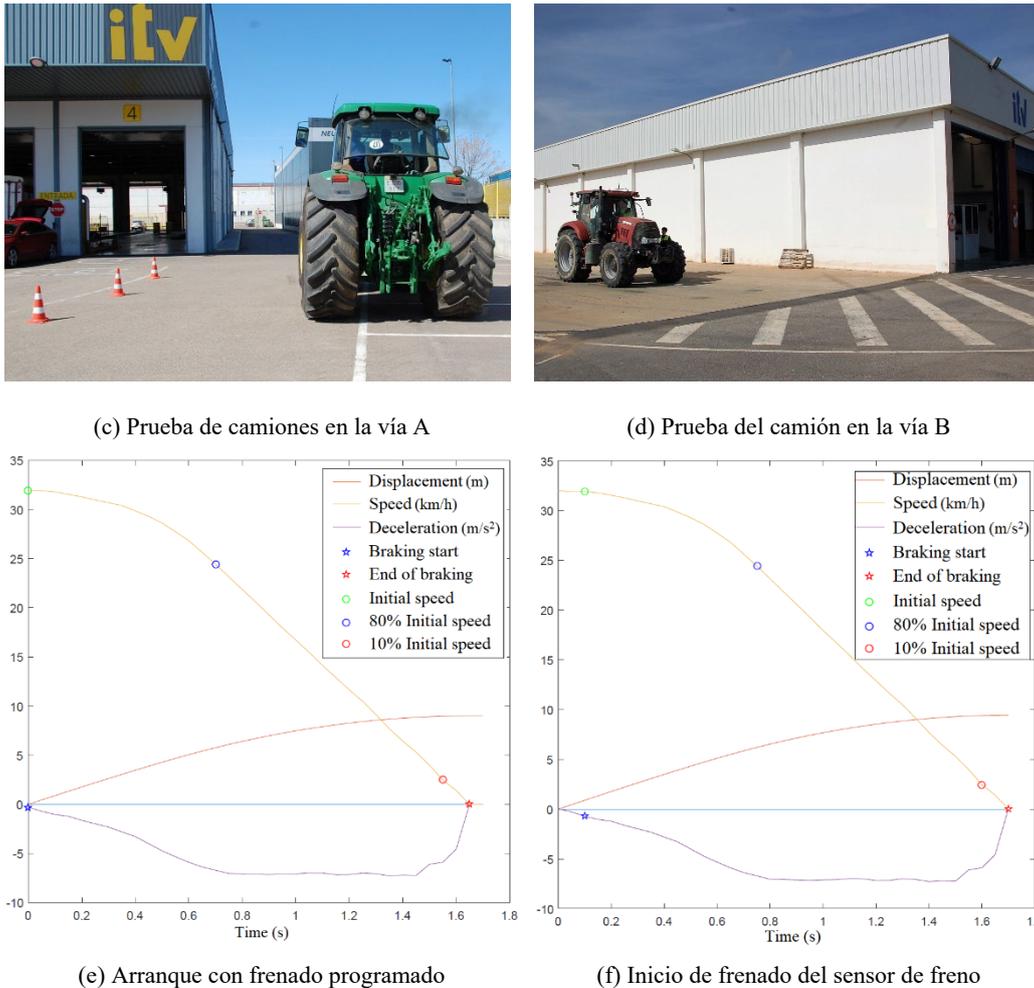
máxima alcanzable, utilizando cuatro dispositivos de medición distintos y evaluando mediante seis métodos de procesamiento diferentes. El plan de pruebas constaba de tres fases principales:



(a) Vía A



(b) Vía B



**Figure 1.** Ejemplo de pistas de prueba en estaciones TIV y representación gráfica de los datos procesados.

**Fase inicial:** En esta fase se recopilaban los datos característicos de cada vehículo, se comprobó y ajustó la presión de los neumáticos, se pesó cada eje en básculas y se ancló correctamente la instrumentación de medición.

**Fase de pruebas:** Esta fase comprendía los siguientes pasos: 1) Posicionamiento del vehículo en el punto de partida de la pista; 2) Aceleración del vehículo hasta alcanzar la velocidad de ensayo deseada; 3) Estabilización del vehículo a esta velocidad durante 1 a 3 segundos; 4) Aplicación de fuerza sobre el pedal del freno hasta la detención completa del vehículo.

**Fase de procesamiento de datos:** Finalmente, se procesaron todos los datos recogidos, obteniéndose las siguientes variables para cada vehículo, velocidad de ensayo y equipo de medida: velocidad inicial en m/s, deceleración media en  $m/s^2$ , longitud de aceleración en metros y distancia de frenado en metros. Debido a las características específicas de cada equipo, estas variables se obtuvieron utilizando diferentes métodos, designados por las siguientes referencias:

- MM\_A: Método manual utilizando el equipo A. El intervalo de cálculo se introdujo manualmente en segundos, y el resultado se obtuvo mediante el procesamiento interno del equipo de forma inmediata.
- DM\_B y DM\_C: Método directo utilizando los equipos B y C, respectivamente. El resultado se obtuvo directamente del equipo.
- MOM\_A y MOM\_D: Método de post-tratamiento basado en el procedimiento M.O. 11/06/1984 (vigente en TIV y utilizado como método de referencia en este estudio) utilizando los equipos A y D, respectivamente. El inicio del frenado se determinó mediante programación, siguiendo la formulación definida en el cuadro 1 (véase la sección: material suplementario), con los registros de datos de los equipos.
- DRM\_A y DRM\_D: Igual que el método anterior pero basado en el procedimiento D.R. (UE) 2015/68. Nótese que este procedimiento utiliza una deceleración media de desarrollo completo (MFDD) como  $d_m$ , y es previsible que este método arroje resultados más realistas. Véase, por ejemplo, la figura 1e.

- MOM\_D\_PF y DRM\_D\_PF: Igual que los dos métodos anteriores pero en lugar de determinar el frenado por programación, utilizando el equipo D junto con un sensor de fuerza de disparo en el pedal de freno. Consulte la figura 1f como ejemplo.

### 3. Resultados y debate

Tras el tratamiento de los datos, se realizó un análisis estadístico de las distintas categorías y velocidades en relación con la  $d_m$  media alcanzada. Con el fin de comparar los equipos y los métodos de procesamiento de datos y no el tipo de vehículo utilizado, cada  $d_m$  media procesada se ha utilizado como un único dato, independientemente del equipo o del método de procesamiento utilizado. Por lo tanto, si se tienen en cuenta los vehículos ensayados, las velocidades de ensayo, el número de repeticiones, las variaciones de los equipos y las técnicas de tratamiento de datos, el tamaño de la muestra supera los 350 resultados.<sup>3</sup>

Consulte la Figura 2 para ver la media diversa de los resultados de la agrupación  $d_m$ . La figura 2a ilustra la media diversa de  $d_m$  obtenida con cada equipo y procedimiento de cálculo utilizado, categorizada según los grupos de velocidad mencionados. La figura 2b presenta valores iguales pero obtenidos para cada grupo de velocidad utilizando equipos o procedimientos de cálculo diferentes.

No obstante, para un análisis más visual de los datos, los resultados se agruparon en función de la velocidad inicial registrada por el equipo D del laboratorio, que es el único que registra todos los datos de velocidad a lo largo del tiempo, dentro de un rango de valores determinados de  $\pm 2$  km/h. Los grupos de velocidad fueron los siguientes: 15, 20, 25, 30, 35 y 40 en km/h.

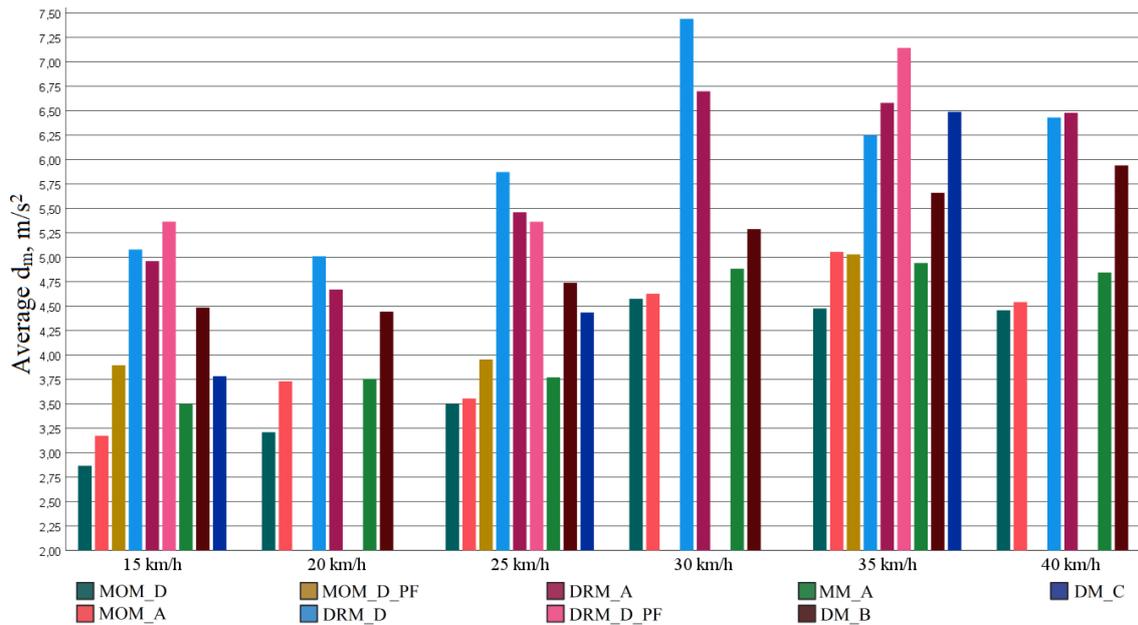
Las principales categorías examinadas incluyen la velocidad inicial de ensayo categorizada por el equipo D, así como el equipo y los métodos de procesamiento de datos empleados. A continuación, los datos recogidos sobre la velocidad inicial, la longitud de aceleración y las distancias de frenado, junto con las recomendaciones sobre el margen de seguridad y la masa real del vehículo, se utilizarán para determinar las dimensiones de la pista de ensayo en función de la velocidad inicial de ensayo del equipo D.

#### 3.1. Influencia de la velocidad de ensayo inicial

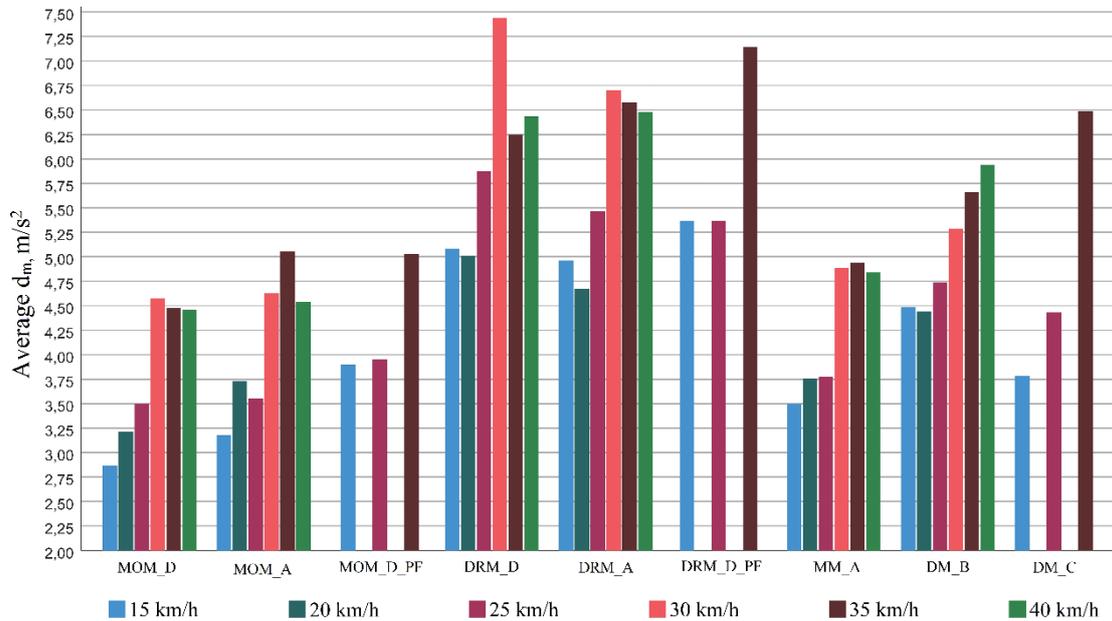
Uno de los objetivos principales era evaluar el impacto de la velocidad inicial objetivo en los valores  $d_m$  obtenidos durante la prueba. Un aspecto destacable fue la dificultad de alcanzar la velocidad inicial deseada. En esta categoría de vehículos, se observó que los velocímetros no existían o eran poco fiables, en caso de estar disponibles. Además, la visualización de la velocidad proporcionada por los equipos utilizados era inconveniente o difícil de observar durante la conducción. Además, para registrar la velocidad inicial de frenado, era necesario un sistema de registro fiable para la verificación y validación de las pruebas. Por lo tanto, es imprescindible garantizar que el conductor disponga de una velocidad del vehículo fiable y fácil de registrar durante la prueba. Se realizó una prueba de contador de Scheffé post-hoc (denominada ANOVA post-hoc) entre la media de la deceleración media de los grupos de equipos para cada velocidad objetivo. Los gráficos de barras de la Figura 3a demuestran que los rangos de velocidad de 15÷25 km/h y 30÷40 km/h mostraron una  $d$  media similar  $d_m$ . El análisis realizado sobre estos

<sup>3</sup> Para más detalles sobre la justificación del análisis, consulte la sección 3 del material suplementario.

rangos se presenta en la Tabla 3 (véase la sección: material suplementario), que confirma la agrupación observada. En conclusión, pueden identificarse dos grupos distintos: uno para velocidades medias y otro para velocidades altas.



(a) Agrupaciones por equipo y subconjuntos por velocidad inicial

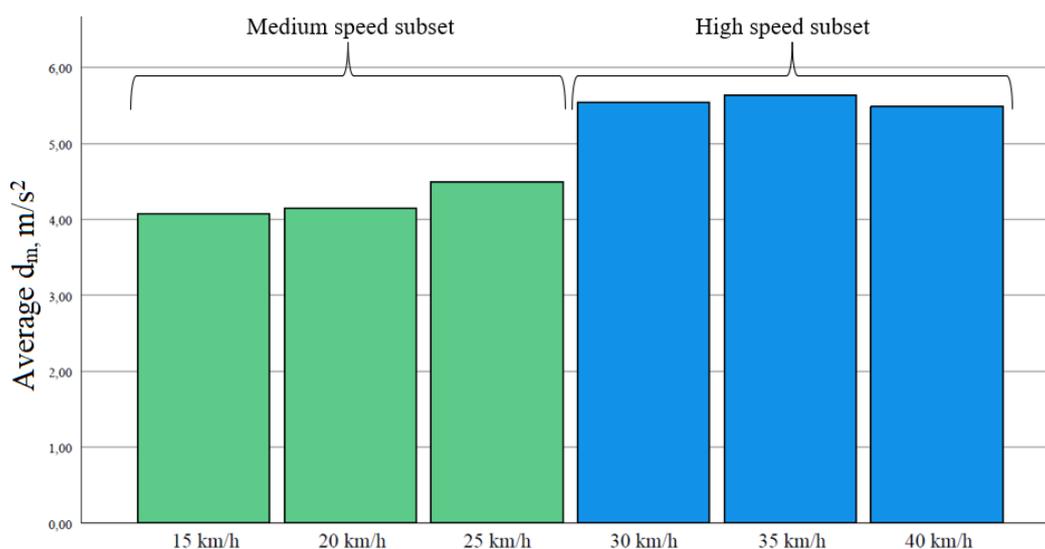


(b) Agrupaciones por velocidad inicial y subconjuntos por equipo

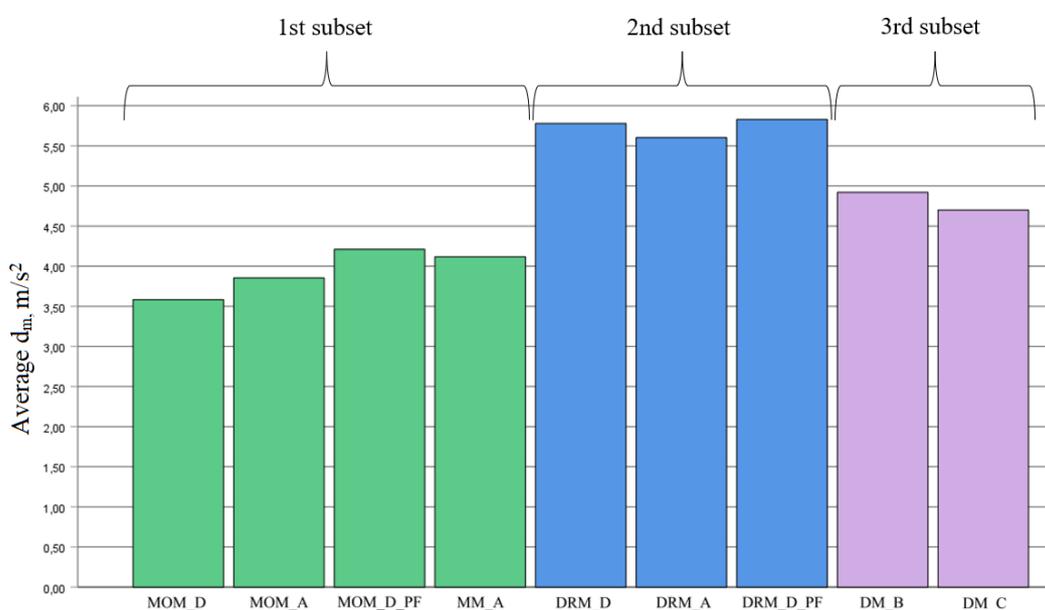
**Figure 2.** Media  $d_m$  resultados.

(Nota de la figura: agrupación de velocidades o subconjuntos basados en la velocidad del equipo de referencia D)

Por lo tanto, la prueba puede considerarse válida dentro del grupo de velocidades medias de 15 a 25 km/h. Pueden obtenerse resultados fiables dentro de este intervalo de velocidad, siempre que se aplique el umbral de rechazo adecuado al intervalo de velocidad máxima del vehículo establecido por el MIP-TIV (cuadro 1, véase la sección Material suplementario para ver el umbral de rechazo). Esto ofrece ventajas significativas durante el ensayo, entre las que se incluyen la mejora de la seguridad, la reducción de los requisitos de tamaño de la vía y la simplificación del manejo del vehículo.



(a) Agrupaciones por velocidad inicial



(b) Agrupaciones por cada método

**Figure 3.** Media  $d_m$  comparaciones.

### 3.2. Influencia de los equipos de ensayo y tratamiento de datos

Otro aspecto clave a evaluar fue la influencia del equipo utilizado y de los diferentes métodos de procesamiento de datos en los valores  $d_m$  obtenidos. La colocación del decelerómetro dentro del vehículo durante la prueba es una consideración importante. Naturalmente, no existe una ubicación designada o preparada, y puede resultar complicado asegurar y colocar el decelerómetro. La sensibilidad a la colocación del dispositivo puede tener un impacto significativo.

Se han hecho varias observaciones dignas de mención en relación con el equipo. La unidad A, cuando funciona en modo manual (MM\_A), recoge adecuadamente los datos para su procesamiento. Sin embargo, el intervalo de tiempo para calcular la media  $d_m$  se define manualmente en el proceso, aspecto que no se ha implementado. Esto influye en el resultado final, por lo que es necesario determinar cómo elegir este intervalo.

Se ha observado que el equipo B funciona mal con frecuencia, detectando pruebas que no se realizaron debido a acciones como cambios de marcha, uso del embrague o vibraciones inherentes a los vehículos. La sensibilidad del equipo contribuye a estos fallos. Al iniciar la prueba, se configura y activa la función correspondiente. Tal y como está configurado, el equipo está diseñado para identificar el final de la prueba. Sin embargo, un cambio repentino de marcha puede identificarse erróneamente como una prueba en marcha, lo que provoca un fallo. El equipo no

determina si se ha alcanzado la velocidad de prueba inicial. Ciertamente, es importante señalar que estos resultados no se incluyeron en todos los análisis realizados.

En cuanto al método de procesamiento de datos, la diferencia entre MOM y DRM radica en la sección de la curva de deceleración utilizada para calcular la media de  $d_m$ . El procesamiento DRM excluye las secciones inicial y final de la curva de deceleración, que abarcan los transitorios de inicio de frenado y final de ensayo. Es razonable omitir estas secciones, ya que la evaluación se centra en el rendimiento del sistema de frenado a máxima capacidad. El tiempo de frenado inicial y el rebote de la suspensión al final de la prueba no aportan información relevante. En consecuencia, los valores medios de deceleración obtenidos mediante el procesamiento DRM son más elevados.

Para evaluar el rendimiento del equipo, se utilizó como referencia el equipo D, un dispositivo de laboratorio basado en tecnología GPS en lugar de acelerómetros. No se ve afectado por el cabeceo de la suspensión y garantiza una orientación longitudinal precisa, lo que puede proporcionar valores de deceleración más fiables.

Para visualizar mejor y distinguir entre los equipos, se calculó la media de  $d_m$  para cada equipo en todas las velocidades, lo que dio como resultado el diagrama de barras que se muestra en la Figura 3b.

En función del método de tratamiento de datos empleado por cada una de ellas, pueden identificarse tres subconjuntos distintos. El primero comprende las unidades que calculan la  $d_m$  procesando los datos mediante el método MOM y la unidad A en modo de procesamiento manual (miembros del 1er subconjunto: MM\_A, MOM\_A, MOM\_D y MOM\_D\_PF). El segundo sigue el mismo planteamiento, pero utiliza el método DRM para el tratamiento de los datos (miembros del 2º subconjunto: DRM\_A, DRM\_D y DRM\_D\_PF). El tercero está formado por los equipos B y C, que miden directamente el valor  $d_m$  y parecen situarse entre los otros dos métodos (miembros del 3er subconjunto de : DM\_B y DM\_C).

Cabe destacar que los resultados obtenidos por DM\_C presentan un intervalo de confianza que se solapa significativamente con los de los otros grupos, lo que dificulta diferenciar su aplicación. Sin embargo, hay que reconocer que hay menos datos disponibles para este equipo. Por el contrario, los resultados obtenidos por DM\_B se alinean en el centro y se solapan con los demás dispositivos. No obstante, este decelerómetro muestra un peor rendimiento en cuanto a fallos y pruebas no registradas. Se observan claras disparidades en los resultados procesados de las unidades A y D en comparación con el resto. Los resultados procesados que consideran sólo la parte central de la curva arrojan valores más altos, como era de esperar. La unidad A presenta los resultados más similares a la unidad de referencia D.

Sobre la base de estos resultados, puede considerarse que el procesamiento de la curva completa, que abarca la disminución inicial de la velocidad y termina en la velocidad cero, arroja resultados válidos para la estación TIV. Estos resultados presentan valores medios más bajos pero coherentes. Sin embargo, en tales condiciones, los algoritmos para determinar el final de la prueba se ven afectados por los transitorios provocados por los cabeceos finales. Por otra parte, el procesamiento únicamente de la parte central de la curva arroja datos más limpios, con menos errores de procesamiento y valores de resultados más elevados. Por lo tanto, teniendo en cuenta esta tendencia general en todos los vehículos sometidos a ensayo, el método de tratamiento de los datos debe ir ligado al umbral de rechazo que debe aplicarse. Ambas metodologías son inicialmente válidas, pero arrojan resultados con diferencias significativas superiores a  $2 \text{ m/s}^2$ .

Para corroborar esta afirmación, se llevó a cabo un procesamiento ANOVA post-hoc (Tabla 4, véase la sección: material suplementario).

En conclusión, se han observado diferencias significativas entre los dispositivos que miden la deceleración media utilizando el método MOM y los que emplean el método DRM. No se puede concluir que los dispositivos B y C sigan un proceso de cálculo interno específico, ya que no ha sido posible determinar el proceso de cálculo preciso utilizado para determinar la deceleración media. Sin embargo, con procesos de cálculo conocidos y controlados, se ha logrado una repetibilidad satisfactoria y resultados válidos.

El mercado ofrece equipos que, con una configuración adecuada, pueden proporcionar resultados coherentes y reproducibles. En este trabajo se han utilizado dos tecnologías diferentes, el GPS y el decelerómetro triaxial. Ambos pueden detectar la orientación del equipo, determinar la dirección de desplazamiento y calcular la deceleración longitudinal, mitigando así los problemas relacionados con el posicionamiento y la orientación. Se ha demostrado, y por ello se utiliza en la actual normativa de homologación de frenado, que el DRM puede proporcionar resultados más realistas. Aunque la tecnología está disponible, aún no se han definido equipos comerciales específicos capaces de aplicar rápida y fácilmente esta configuración.

### 3.3. Cuestiones clave identificadas en este estudio

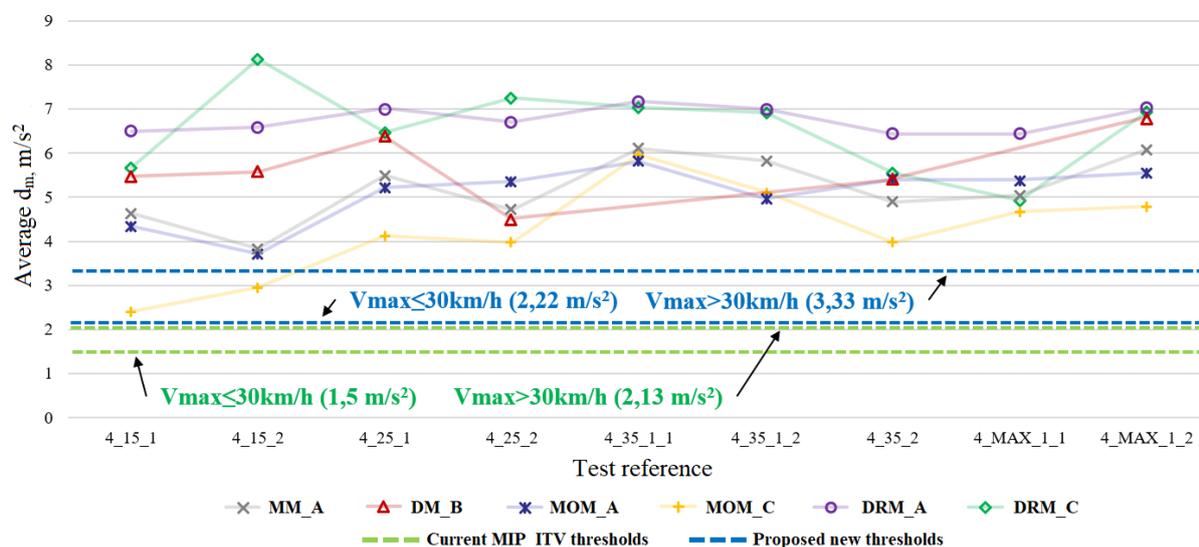
Como se destaca en diversas publicaciones [6:9], nunca se insistirá lo suficiente en la importancia de mantener los sistemas de frenado en buen estado, sobre todo para garantizar la seguridad en las vías públicas. Por lo tanto, es crucial establecer un procedimiento exhaustivo que describa claramente los pasos necesarios para determinar la deceleración media de los tractores. Estudios como [9, 10] indican una influencia directa en los resultados basada en la actuación del conductor durante cada repetición de la prueba. Además de los conocimientos adquiridos durante el estudio y la experiencia adquirida en la realización de las pruebas, es evidente la necesidad de perfeccionar el procedimiento de obtención  $d_m$  en las estaciones TIV.

A partir de la experiencia adquirida, se ha realizado una recopilación de puntos clave para desarrollar un procedimiento de inspección, que incluye la determinación de las dimensiones de la vía de ensayo. A modo de conclusión y como valores de referencia para determinar la longitud de la vía, en el cuadro 5 se presentan los valores recomendados para las longitudes de las vías de ensayo. Cabe señalar, por ejemplo, que la prueba a 35 km/h requiere 81,7 metros, aproximadamente el doble de longitud de vía que a 20 km/h.<sup>4</sup>

**Cuadro 5:** Longitudes de vía en función de la velocidad de ensayo ( $\pm 0,1$  m)

Prueba velocidad (km/h)	Distancia de aceleración (m)	Distancia desde frenado (m)	Seguridad margen (m)	Pista longitud(m)
15	28.7	2.1	2.3	33.0
20	35.9	4.5	4.0	44.4
25	43.2	6.9	6.3	56.3
30	50.5	9.3	9.0	68.8
35	57.8	11.7	12.3	81.7
40	65.1	14.1	16.0	95.2

Por otra parte, al examinar los valores de los umbrales mínimos de deceleración media fijados por el PIM-TIV, se pone de manifiesto un aspecto interesante. En el ejemplo de la figura 6, todos los valores obtenidos están por encima del umbral de aceptabilidad actual. Sin embargo, es posible que para vehículos con valores cercanos a estos umbrales, la idoneidad o no de la comprobación del frenado de servicio varíe en función del equipamiento utilizado y del método de cálculo seleccionado. De acuerdo con esta conclusión, hemos realizado una propuesta honesta de nuevos umbrales de aceptación (Tabla 6, véase la sección: material suplementario).<sup>5</sup>



Nota: Las etiquetas del eje horizontal indican la referencia del ensayo, por ejemplo: Pruebas de vehículos 4\_Velocidad en km/h\_Número de prueba. MAX era la velocidad máxima por construcción, aproximadamente 40 km/h.

**Figure 4.** Media  $d_m$  por equipo a diferentes velocidades y comparación de umbrales.

<sup>4</sup> Consulte la Sección 4 del material suplementario para ver la recopilación de claves para elaborar un procedimiento de inspección.

<sup>5</sup> Consulte la sección 5 del material suplementario para ver una propuesta honesta de nuevos umbrales de aceptación.

## 4. Conclusiones

Se realizaron un total de 45 pruebas en pista con seis vehículos agrícolas, utilizando cuatro dispositivos de medición y evaluando mediante seis métodos de procesamiento. Estas pruebas generaron más de 350 puntos de datos, lo que facilitó el análisis de factores críticos como la velocidad de prueba, la selección del equipo y las dimensiones de la pista de prueba.

Los ensayos a velocidades iniciales bajas (de 15 a 25 km/h) surgieron como una opción viable para evaluar los sistemas de frenado en todos los tractores, lo que requirió pistas más cortas y seguras de entre 33 y 56,3 metros.

El ANOVA post-hoc reveló diferencias significativas entre dispositivos y métodos de cálculo, que influyen en la determinación de apto o no apto de la prueba de frenado de un vehículo. Al centrarse en la parte central de la curva de frenado se obtuvieron datos mejores y más sólidos.

Al tiempo que se garantiza la uniformidad y comparabilidad de los resultados en todas las estaciones VIT, es crucial especificar el método de cálculo en el PIM-TIV. El personal cualificado debe ejecutar las pruebas, garantizando la seguridad y la calidad mediante la definición precisa de la pista de pruebas y la delimitación de las zonas de aceleración y frenado.

Estos resultados condujeron a la elaboración de directrices para un nuevo procedimiento de ensayo y límites de aceptación revisados para los frenos de servicio (2,22 m/s<sup>2</sup> para  $\leq 30$  km/h y 3,33 m/s<sup>2</sup> para  $> 30$  km/h). Aunque es necesario ampliar el tamaño de la muestra para realizar un análisis exhaustivo, el procedimiento de ensayo y los límites de aceptación propuestos ofrecen un punto de partida sólido para redefinir el procedimiento de inspección MIP-TIV.

El trabajo futuro implica el desarrollo de equipos automatizados de medición de dm utilizando tecnologías rentables como Arduino o Raspberry Pi, con el objetivo de realizar inspecciones de frenos de servicio más fáciles, rápidas y rentables.

## Referencias

- [1] Royal Decree 920/2017, of 23 October, regulating the technical inspection of vehicles.
- [2] Cuadrado Sempere, Ó., Fabra Rodríguez, M., Navarro Arcas, A. R., Simón Portillo, F. J., Velasco Sánchez, E., & Sánchez Lozano, M. "Evaluación del actual procedimiento de inspección de frenos de servicio en tractores (vehículos de categoría T) en estaciones ITV". *XV Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*. (2022). <https://doi.org/10.5944/bicim2022.243>.
- [3] Ciępka, Piotr, Wojciech Wach, and Jakub Zębala. "Deceleration of Engine-Braked Motorcycles." *Machines* 11.8,812 (2023). <https://doi.org/10.3390/machines11080812>.
- [4] Ondruš, Ján, and Peter Hockicko. "Braking deceleration measurement using the video analysis of motions by Sw tracker." *Transport and telecommunication journal* 16.2, 127-137 (2015). <https://doi.org/10.1515/ttj-2015-0012>.
- [5] Royal Legislative Decree 6/2015, of 30 October, approving the revised text of the Law on Traffic, Circulation of Motor Vehicles and Road Safety.
- [6] Pierre Criado. Les distances de freinage d'urgence des tracteurs agricoles. Enter. <https://www.entraid.com/articles/distances-freinage-tracteur-remorque-urgence>.
- [7] Kabir, Md. Shaha Nur, Sun-Ok Chung, Yong-Joo Kim, and Sung-Hyun Shin. "Comparison of Test Standards for the Performance and Safety of Agricultural Tractors: A Review." *Journal of Biosystems Engineering* 39, no. 3, 158-65 (2014). DOI:10.5307/JBE.2014.39.3.158.
- [8] Garrott, W. Riley, Mark Heitz, and Brad Bean. "Experimental measurement of the stopping performance of a tractor-semitrailer from multiple speeds." *Accident reconstruction journal* 22.3, 45-57 (2012).
- [9] Gurevicius, P., & Janulevicius, A. "Tractor MFWD braking deceleration research between different wheel drive". In *Proceedings of the 16th International Scientific Conference Engineering for Rural Development Vol. 6*, pp. 854-859, (2017).
- [10] Shin, Hwa-Kyung. "Analysis of braking response time for driving take based on tri-axial accelerometer." *Journal of Korean Physical Therapy* 22.6, 59-64 (2010). <http://www.kptjournal.org/journal/view.html?spage=59&volume=22&number=6>

## Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco de la Cátedra ITEVEBASA de la Universidad Miguel Hernández de Elche, creada en junio de 2021. El Grupo ITEVEBASA S.A. ha financiado esta Cátedra, que tiene como objetivo mejorar los procesos, equipos y métodos empleados durante la Inspección Técnica de Vehículos.

## Material complementario

### 1. Fondo

**Tabla 1:** Normativa aplicable a los tractores, formulaciones y umbrales de eficiencia aplicables a los vehículos T

Marco legislativo español	Marco europeo de homologación	Reglamento específicos para el frenado	Otra regulación alternativa del frenado
R.D. 920/2017	D. 74/150/CEE	M.O. 11/06/1984	D. 71/320/CEE
R.D. 2822/1998	D. 2003/37/CE	D. 76/432/CEE	CEPE R. 13
R.D. 2028/86	R. (UE) 167/2013	R.D. (UE) 2015/68	CEPE R. 13H

Notas: R.D.: Real Decreto español, D.: Directiva, R.: Reglamento, UE: Unión Europea, O.M.: Orden Ministerial española, D.R.: Reglamento Delegado, C.E.: Comisión Europea, CEE.: Comisión Económica Europea, UNECE.: Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas.

	R.D. 920/2017 (MIP-TIV)		M.O. 11/06/1984		R.D. (UE) 2015/68	
<b>Velocidad máxima (km/h)</b>	$\leq 30$	$> 30$	$\leq 30$	$> 30$	$\leq 30$	$> 30$
<b>Umbrales de eficacia, dm (m/s)<sup>2</sup></b>	$\geq 1.5$	$\geq 2.13$	$\geq 2.4$	$\geq 3.2$	$\geq 3.55$	$\geq 5$
Ecuaciones	$d_m = \frac{V^2}{2 \cdot e}$ ; (1)			$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)}$ ; (2)		

donde:

$d_m$ = deceleración media en m/s <sup>2</sup> .	$v_i$ = velocidad inicial en km/h.	$s_b$ = distancia entre $v_i$ y $v_b$ en m.
$V$ = velocidad inicial en m/s.	$v_b$ = velocidad a 0,8· $v_i$ en km/h.	$s_e$ = distancia entre $v_i$ y $v_e$ en m.
$e$ = distancia de frenado en m.	$v_e$ = velocidad a 0,1· $v_i$ en km/h.	

## 2. Ampliación de los detalles de los equipos de prueba

### 2.1. Detalles del equipo

Los dos primeros (A y B) eran decelerómetros comerciales proporcionados y utilizados por una de las estaciones TIV, A decelerómetro triaxial y B con certificado de calibración inicial del fabricante. Ambos con certificado de calibración ENAC con precisión declarada de  $d_m \pm 0,04$  m/s<sup>2</sup>.

El tercero (C) de ellos era un decelerómetro suministrado y desarrollado internamente por una estación TIV con certificado interno de calibración por esta estación TIV contrastado contra un equipo con calibración ENAC. La precisión declarada de  $d_m$  equipo A es de  $\pm 0,05$  m/s<sup>2</sup>.

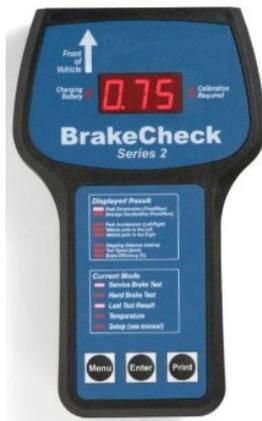
El último (D) y utilizado como referencia fue un equipo de ensayo de laboratorio basado en tecnología GPS con certificado de calibración del Servicio de Acreditación del Reino Unido (UKAS). Equipo proporcionado por el Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Elche, I3E. La precisión de  $d_m$  calculada es de  $\pm 0,05$  m/s<sup>2</sup>.

Tres de los equipos de ensayo (A, B y D) se montaron en una caja de soporte para garantizar la adquisición simultánea de datos. El equipo C, específico de una estación TIV, se utilizó simultáneamente pero no se instaló en la misma caja de soporte. Este equipo tiene 3 imanes potenciales que pueden sujetar piezas metálicas de forma fiable.

Consulte la figura I para ver un ejemplo visual del equipo utilizado y el montaje.



(a) Equipo A



(b) Equipo B



(c) Equipamiento C



(d) Equipamiento D



(d) Soporte y montaje de equipos

**Figura I:** Equipo de medición.

## 2.2. Detalles del vehículo

**Cuadro 2:** Longitudes de vía en función de la velocidad de ensayo

Parámetro	Vehículo					
	1	2	3	4	5	6
Marca	JOHN DEERE	NUEVA HOLANDA	JOHN DEERE	JOHN DEERE	JOHN DEERE	CASE IH
Comercial	6534 4X4	FIATAGRI TN65F (4WD)	8420	7830	2135	PUMA 150
Fecha de fabricación	21/12/2010	10/06/1998	03/06/2004	26/01/2010	06/11/1995	24/05/2016
Velocidad máxima de construcción (km/h)	40	38,2	40	40	31,7	40
Tracción 4x4	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Sistema de frenos	Hidráulico	Mecánico	Hidráulico	Hidráulico	Hidráulico	Hidráulico
Neumáticos delanteros	420/70 R28 133 A8	5.00-15	600/70 R30 4550 65	600/70 R30 1580	7.50-16 103A6	480/70R28 142A8
Neumáticos traseros	460/85 R38 154D	360/70 R28 125A3	710/70 R42 6500 65	710/70 R48 1730	18.4-30 139A8	5801/70/R3 8 155A8
Lastre de agua (%)	Delantero: 0 Trasero: 0	Delantero: 0 Trasero: 75	Delantero: 0 Trasero: 0	Frente: 75 Trasero: 0	Delantero: 0 Trasero: 75	Frente: 75 Trasero: 75
Presión (bar)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	Frente: 1,8 Trasero: 1,5
Masa real del eje delantero (kg)	2775	610	5280	6040	1255	4145
Masa real del eje trasero (kg)	2795	1415	6890	5110	2490	5235
Masa total real (kg)	5565	2025	12170	11150	3745	9380
Vía del eje delantero (mm)	1700	1155	1950	1900	1615	1850
Vía del eje trasero (mm)	1630	1220	1850	2010	1585	1830
Distancia entre ejes (mm)	2660	1710	3020	2860	2190	2820

### 3. Justificaciones del análisis

Cabe destacar que los grupos de 20 y 30 km/h no eran el objetivo inicial del proyecto. Sin embargo, debido a las dificultades encontradas para alcanzar la velocidad de ensayo inicial deseada, se disponía de datos suficientes en estos rangos para diferenciarlos. En consecuencia, los resultados se han clasificado en estos grupos de velocidad.

En algunos casos, la muestra de subgrupos de los resultados generales es demasiado corta, pero esto no afecta a las conclusiones obtenidas, ya que el tamaño de los subgrupos construidos para realizar las comparaciones superaba las 10 muestras. Confirmamos las diferencias de medias significativas y la igualdad de varianzas dentro de estos subgrupos y las agrupaciones establecidas mediante la prueba post-hoc del contador de Scheffé para validar aún más los resultados observados, como se indica en las tablas post-hoc del ANOVA.

Cabe señalar que la incertidumbre declarada del equipo está por debajo del umbral de significación utilizado para las pruebas post-hoc y más de la incertidumbre de la media  $d_m$  de agrupaciones comparadas.

Esta técnica de agrupación de variables, que engloba a equipos que emplean procedimientos diversos que dan lugar a discrepancias significativas, nos permite extraer conclusiones generales sobre las tendencias observadas en los resultados que figuran a continuación. El objetivo no es determinar el aparato o método más preciso para obtener  $d_m$  parámetro, sino identificar el más adecuado para los vehículos probados. Más adelante, nos preguntaremos qué equipo podría aplicar el procesamiento de datos más adecuado para lograr una medición más precisa. No obstante, para realizar un análisis más exhaustivo, que abarque la precisión de la medición de  $d_m$ , sería imprescindible ampliar el número de pruebas para incluir una muestra de mayor tamaño.

Ahora, en las tablas 3 y 4 podemos ver los principales resultados del ANOVA post-hoc:

**Tabla 3:** Tabla de grupos ANOVA post-hoc para  $d_m$  por agrupaciones de velocidad,  $m/s^2$

Agrupación de velocidades, km/h	Nº de muestras	Subconjuntos detectados para $\alpha = 0,05$	
		1	2
15	132	4.07	
20	24	4.14	
25	86	4.49	
30	31		5.54
35	59		5.64
40	32		5.49
Significado		0.81	1.00
Media del subconjunto, $m/s^2$		4.24	5.55

**Tabla 4:** Tabla de grupos ANOVA post-hoc para la deceleración media por equipo,  $m/s^2$

Equipamiento y método de cálculo	Nº de muestras	Subconjuntos detectados para $\alpha = 0,05$		
		1	2	3
MOM_D	47	3.58		
MOM_A	55	3.85	3.85	
MM_A	55	4.12	4.12	
MOM_D_PF	19	4.21	4.21	
DM_C	19	4.70	4.70	4.70
DM_B	48		4.92	4.92
DRM_A	55			5.60
DRM_D	47			5.78
DRM_D_PF	19			5.83
Significado		0.07	0.10	0.06
Media del subconjunto, $m/s^2$		4.09	4.36	5.37

En relación con los resultados de la Tabla 4, los subconjuntos 1 y 3 coinciden con la conclusión de la Figura 3b de la Sección 3.2, ya que los valores calculados mediante el método MOM se incluyen en el subconjunto 1 y los relacionados con la DRM en el subconjunto 3. Cabe destacar que el subconjunto 1 incluye DM\_C, mientras que el subconjunto 3 engloba DM\_B y DM\_C. Esto confirma que estos equipos no permiten discriminar claramente su comportamiento y podrían asociarse a cualquiera de los dos métodos, por lo que se considera que no han producido resultados adecuados. Por otro lado, surge un subconjunto 2 con menor significación. Este subconjunto incluye los métodos MM\_A, DM\_B y DM\_C, junto con los equipos que siguen el método de tratamiento MOM, excepto el equipo D. Dado que estos valores ya están agrupados en los subconjuntos 1 y 3, se considera inapropiado clasificarlos como un grupo aparte, ya que los resultados pueden explicarse adecuadamente con los grupos 1 y 3.



## 4. Claves para elaborar un procedimiento de inspección

Además de los aspectos mencionados en las secciones anteriores, otros detalles son pertinentes para la correcta ejecución de las pruebas de la estación VIT, manteniendo al mismo tiempo un procedimiento rápido, sencillo y coherente.

- En primer lugar, hay que tener en cuenta el espacio disponible en los locales de las estaciones TIV. Actualmente, este no es un requisito para la autorización o concesión de una estación TIV, lo que da lugar a que un alto porcentaje de estaciones carezcan de espacio adecuado para la pista de pruebas.
- En el caso de las estaciones TIV móviles, establecer unos requisitos mínimos es relativamente más fácil. Sin embargo, en las zonas rurales puede haber carreteras o posibles zonas de ensayo que no estén pavimentadas. Por lo tanto, es necesario identificar una adherencia mínima de la superficie de la pista de pruebas para garantizar que las pruebas no puedan realizarse en superficies resbaladizas, como terrenos mojados o embarrados.
- En cuanto al vehículo, factores como la presión correcta de los neumáticos, el posible lastre o las ruedas llenas de agua pueden influir en los resultados de la prueba. Aunque estos parámetros no se analizaron en este estudio, se comprobó que no afectaban al resultado. A la hora de desarrollar un procedimiento de inspección periódica, sería conveniente realizar un análisis de su influencia o establecer comprobaciones preliminares de las presiones y masas de los neumáticos.
- Ya se ha mencionado la dificultad de colocar el decelerómetro en el tractor. El diseño del equipo debe tener en cuenta este aspecto, y la unidad C puede ser la que mejor aborde esta cuestión gracias a su fijación con imán de neodimio.
- En cuanto a la ejecución de la prueba, se ha observado que hay que formar al conductor para llevarla a cabo. Este aspecto no es trivial. Por ello, en estas pruebas se ha exigido la formación previa del conductor y se considera necesario que el personal esté cualificado.
- Otro aspecto relacionado con la ejecución de las pruebas es la necesidad de disponer de información fiable sobre la velocidad. Esto puede conseguirse mediante un velocímetro GPS a bordo o un radar externo que proporcione la velocidad en la pista mostrada al conductor. En cualquier caso, esta información debe ser clara, fiable, registrada y fácilmente accesible para el conductor.
- Por último, para el desarrollo de la prueba, se recomienda acelerar el vehículo de forma suave y continua desde la marca de salida en la pista de pruebas hasta alcanzar la velocidad máxima deseada. Se ha observado que utilizar una marcha más larga y reducir al mínimo los cambios de marcha facilita este proceso y reduce los movimientos bruscos. Durante esta etapa, es necesario estabilizar la velocidad de prueba antes de iniciar el frenado al recibir la señal o indicación de que se ha alcanzado la velocidad adecuada. En este punto, justo antes de llegar a la marca de inicio de la sección de frenado, se debe pisar a fondo el pedal del embrague y del freno hasta que el vehículo se detenga. Si no se cumplen las condiciones de la prueba antes de llegar a la marca, debe anularse la prueba y repetirse. Si se detecta algún comportamiento anómalo del vehículo durante el frenado, debe repetirse el ensayo para garantizar la exactitud de los datos obtenidos. Por último, una vez finalizada la prueba, es importante verificar que el equipo ha funcionado correctamente y ha registrado con precisión la prueba. Si se detecta algún problema, debe repetirse la prueba.

### 4.1. Determinación de las dimensiones de la pista de ensayo

Para llevar a cabo la prueba de frenado de forma eficaz, es necesario contar con unas instalaciones que cumplan ciertos requisitos mínimos. El primer aspecto que hay que abordar es la definición de la pista de pruebas. Encontrar una zona adecuada cerca de la estación TIV, ya sea fija o móvil, suele ser todo un reto. Sin embargo, es crucial identificar los requisitos mínimos y tomar decisiones en función de ellos.

Durante el programa de pruebas, se hizo evidente que definir la pista de pruebas no era tarea fácil. Aunque ambas estaciones disponían de espacio para las pruebas, era importante perfilar los aspectos clave que debían aclararse.

#### **Anchura de la pista de pruebas:**

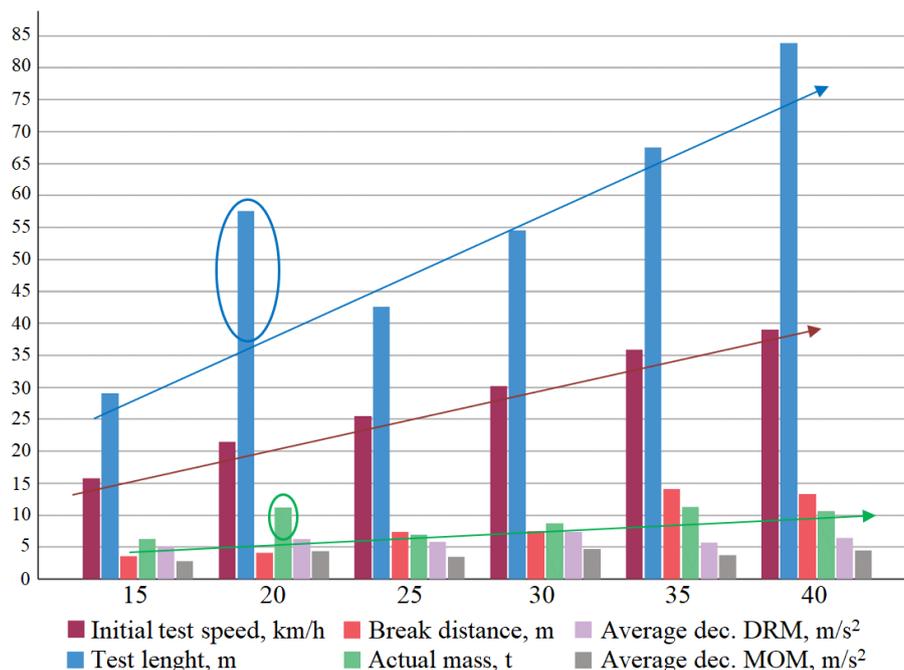
La anchura de los carriles resultó ser el aspecto menos preocupante. Ambas estaciones TIV tenían una anchura de carril suficiente. El requisito mínimo para una anchura de carril convencional para vehículos con velocidades de 40-50 km/h es de 3 m. Añadiendo un margen de seguridad de 0,5 m a cada lado, se considera que una anchura total de 4 m es suficiente para estas pruebas. Sin embargo, esta medida podría reducirse a 3 m para los tractores con una anchura máxima inferior a 2,5 m. Es esencial garantizar que la pista de pruebas esté cerrada a peatones y otros vehículos durante las pruebas. Las zonas designadas en cada estación podrían haberse destinado originalmente al adelantamiento, aparcamiento u otros fines, en lugar de ubicar una pista de ensayo de frenado.

### Longitud de la pista de pruebas:

La longitud de la pista de pruebas debe ser adecuada para acomodar la aceleración, la velocidad y el frenado. También debe tener en cuenta la posibilidad de que haya vehículos con frenos que funcionen mal, garantizando una zona de seguridad definida para detener el tractor con seguridad.

Se observó que había un cierto nivel de riesgo asociado a los ensayos de vehículos a velocidades más altas en caso de fallo o de resultados de frenado desfavorables. Esto respalda la idea de definir ensayos a velocidades bajas (por debajo de 25 km/h). Es mucho más seguro y fácil establecer una zona de ensayo para velocidades más bajas.

Para estimar la longitud de la vía, se analizó la media de la suma de las distancias de aceleración y frenado para todas las velocidades iniciales obtenidas (figura II). Esta suma de distancias, denominada "longitud de ensayo", se trazó junto a las medias de las distancias de frenado reales, la masa real del vehículo y las deceleraciones medias obtenidas. Para simplificar, los valores de distancia y deceleración mostrados se refieren al equipo D. También se agrupan por velocidades objetivo, lo que ayuda a determinar el margen de distancia para cada velocidad.



**Figura II:** Evolución de la longitud de la pista de ensayo en función de las variables que afectan al ensayo de frenado.

En cuanto al margen de seguridad, podemos estimar una distancia equivalente a la distancia de seguridad recomendada entre vehículos en el tráfico rodado, según sugiere la Dirección General de Tráfico del Ministerio del Interior español [5]. Un método de estimación habitual es utilizar la siguiente regla: el valor de la velocidad se divide por 10 y el número restante se eleva al cuadrado. Para velocidades entre 15÷40 km/h, esto se traduce en una longitud aproximada de 2 a 16 m.

Como era de esperar, la longitud del ensayo aumenta a mayor velocidad. Del mismo modo, cuanto mayor es la masa del vehículo, mayor es la longitud de ensayo necesaria. Cabe destacar que las diferencias debidas a las deceleraciones medias son mucho menores en comparación con las diferencias atribuidas a la longitud o la masa de la prueba. La masa también desempeña un papel importante en la determinación de la longitud de la pista de ensayo. Esta observación resulta evidente al comparar la tendencia de todos los resultados, concretamente con la longitud de prueba para la velocidad objetivo de 20 km/h. Para este valor, la masa real es comparable a la de las velocidades de 35 y 40 km/h, lo que representa un aumento considerable en comparación con las velocidades vecinas de 15, 25 y 30 km/h. Por consiguiente, la longitud de prueba para 20 km/h se sitúa entre las distancias para 40 km/h y 35 km/h.

Para corroborar la observación anterior, en el cuadro 5 se presentan los coeficientes de correlación de Pearson (CCP), que muestran que las correlaciones son estadísticamente significativas.

**Cuadro 5:** Tabla de agrupación de PPC

		Longitud de la prueba	Velocidad inicial	Masa real
Longitud de la prueba	PCC	1	0.81**	0.41**
	Firma.		0.00	0.01
	NoS	39	39	39

	PCC	0.81**	1	0.46**
<b>Velocidad inicial</b>	Firma.	0.00		0.00
	NoS	39	39	39
	PCC	0.41**	0.46**	1
<b>Masa real</b>	Firma.	0.01	0.00	
	NoS	39	39	39

\*\* La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Notas: CCP: Coeficiente de correlación de Pearson, Sign: Significación, NoS: Número de muestras.

## 5. Nuevos umbrales de aceptación propuestos

Se ha determinado que el procedimiento de ensayo definido en el D.R. (UE) 2015/68 ofrece un mayor realismo en comparación con el procedimiento de la O.M. 11/06/1984, ya que elimina los transitorios al inicio del frenado y al final del ensayo. Como consecuencia de ello, se pudo observar que los valores medios de deceleración obtenidos para el procedimiento D.R. (UE) 2015/6 eran superiores.

Basándose en estas observaciones, junto con las recomendaciones esbozadas en el estudio anterior, es razonable proponer que los umbrales de aceptación se adapten al nuevo procedimiento de ensayo y aumenten su valor.

Para hacer una propuesta razonable, se han comparado los umbrales actuales con los propuestos en la O.M. 11/06/1984 relativa a la homologación de los dispositivos de frenado, que se espera que sea el método de ensayo transpuesto, por ejemplo: para un intervalo de velocidad  $\leq 30$  km/h, los umbrales actuales son de  $1,5 \text{ m/s}^2$ , o lo que es lo mismo  $100 \cdot (1,5/2,4) = 62,5\%$  de los umbrales de la O.M. 11/06/1984.

A continuación, se calcularon los nuevos umbrales aplicando los porcentajes de reducción hallados a los umbrales de aceptación del reglamento de homologación más actual para dichos sistemas, el R.D. (UE) 2015/68. Por ejemplo, como un mismo caso, para un rango de velocidad  $\leq 30$  km/h,  $3,55 \cdot (62,5/100) = 2,22 \text{ m/s}^2$ .

**Cuadro 6:** Umbrales de aceptación de la deceleración media.

<b>Velocidad máxima, km/h</b>	<b><math>\leq 30</math></b>	<b><math>&gt; 30</math></b>
Actual. MIP-TIV 7.7.0, $\text{m/s}^2$	$\geq 1.50$	$\geq 2.13$
Umbrales de aprobación actuales. O.M. 11/06/1984, $\text{m/s}^2$	$\geq 2.40$	$\geq 3.20$
Umbrales de aprobación actuales frente a los actuales, %	62.50	66.56
Umbrales de homologación. R.D. (UE) 2015/68, $\text{m/s}^2$	$\geq 3.55$	$\geq 5.00$
<b>Nuevos umbrales propuestos, <math>\text{m/s}^2</math></b>	<b><math>\geq 2.22</math></b>	<b><math>\geq 3.33</math></b>