

## Medida de eficacia de frenada de un automóvil. Comparativa de procedimientos y equipos

Susana Sanz Sánchez <sup>(1)</sup>, María Garrosa Solana, Ester Olmeda Santamaría, Vicente Díaz López

<sup>(1)</sup>: Instituto de Seguridad de los automóviles. Universidad Carlos III de Madrid  
C/Butarque, 15 28911 Leganés (MADIRD)  
916248755 ssanz@ing.uc3m.es

### RESUMEN:

En el presente trabajo se estudian diferentes equipamientos y sus procedimientos de ensayos asociados para la medición de la eficacia de frenado de un automóvil.

En la actualidad, en España, la red de estaciones de inspección técnica de vehículos (ITV), tiene como objetivo comprobar que tanto el estado general del vehículo, así como que los elementos de seguridad, entre los que se encuentra el sistema de frenos. Para dicha inspección se emplea un banco de rodillos (frenómetro), midiendo la fuerza de frenado en rueda. Este equipo, adaptado para esta inspección, cumple las exigencias del Manual de Procedimiento de Inspección de Estaciones ITV, emitido por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

Además de este método sobre banco, existen otros equipos con los que se obtiene el valor de eficacia de frenado de un vehículo. En el presente trabajo se exponen los diferentes sistemas de medición y una comparativa de resultados obtenidos experimentalmente.

Se observan las diferencias en el contacto entre las superficies del equipo y el neumático, siendo en el caso del frenómetro un contacto entre rodillo y rueda, ambos curvos, a diferencia del contacto neumático contra plano presente en la medida en frenómetro de placas o decelerómetro.

Por último, el trabajo concluye con una parte experimental donde se comparan la medición de eficacia de frenado con los diferentes procedimientos y sus equipos asociados para ver si existe variaciones del resultado en función del equipo empleado. En los ensayos se controlan aquellas variables que afectan directamente a la fuerza de frenado, como la presión de inflado de neumáticos, la carga del vehículo o la fuerza empleada para accionar el pedal de freno.

### 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la seguridad vial, se tienen muy en cuenta los sistemas de frenos de los automóviles. Los vehículos actuales que circulan por carretera, cada vez con más prestaciones, son capaces de alcanzar velocidades elevadas en muy poco tiempo. Teniendo en cuenta esto, es necesario disponer de un sistema capaz de reducir esa velocidad de manera rápida, precisa y eficaz para conseguir una conducción lo suficientemente segura para las personas.

La seguridad vial cobra gran importancia hoy en día ya que ésta influye directamente en la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. En 2019, se perdió la vida de aproximadamente 1.725 personas en accidentes de tráfico en España, incluyendo tanto las vías urbanas como las interurbanas. Esta cifra se ha reducido en alrededor de 80 personas con respecto de la cifra registrada el año anterior. En 2021 se produjeron 921 siniestros mortales, en los que fallecieron 1.004 personas y otras 3.728 resultaron heridas graves, lo que supone 97 fallecidos menos (-9%) que el año 2019 (año de referencia) y el segundo mejor año de la serie histórica, solo por detrás de 2020, en el que fallecieron 870 personas, pero se trata de una estadística distorsionada por la pandemia [1].

Pero más allá de las consecuencias de la mortalidad, los accidentes de tráfico y las lesiones provocadas por ellos, impactan en la calidad de vida de las personas y modifican sus relaciones sociales, profesionales y familiares.

Por esta razón, debido a que el sistema de frenos es uno de los principales componentes de seguridad de un vehículo, es importante que éste tenga un mantenimiento adecuado y regular para que se mantengan sus prestaciones durante la conducción y no se ponga en peligro a otros usuarios de la vía o al propio conductor.

Debido a que los vehículos turismo están involucrados en un mayor porcentaje de accidentes con víctimas, en España se ha analizado el estado de los mismos implicados en dichos accidentes. Se afirma en un estudio realizado, [2], que el porcentaje debido al deterioro del sistema de frenos disminuye al paso de los años pero de forma muy discreta. En el estudio se ve que los accidentes de tráfico también son achacables a otros defectos detectados en ITV y a la antigüedad de los vehículos.

Hay que mencionar aquí que la prueba de frenos, junto con la de detección de holguras, es de las más agresivas al vehículo. No obstante, no existen razones que permitan suponer que algún sistema del vehículo se deteriora por este motivo. Pero sí es razonable deducir que, al ser un ensayo cuasi dinámico, existen multitud de variables físicas que intervienen en el proceso, siendo compleja la cuantificación de esfuerzos de frenado.

En España, la red de estaciones de inspección técnica de vehículos (ITV), garantiza el buen estado general de los vehículos para la circulación por vía pública. En esta inspección se tiene en cuenta tanto el estado general del vehículo, así como que los elementos de seguridad determinados. Del porcentaje de vehículos rechazados en la ITV, aquellos que lo han sido por un sistema de frenos defectuoso no ha bajado del 10% en la última década. En el año 2019, año base considerado sin distorsiones por efectos de la pandemia, el porcentaje de defectos graves en ITV por frenos fue el 13% (Fig. 1).

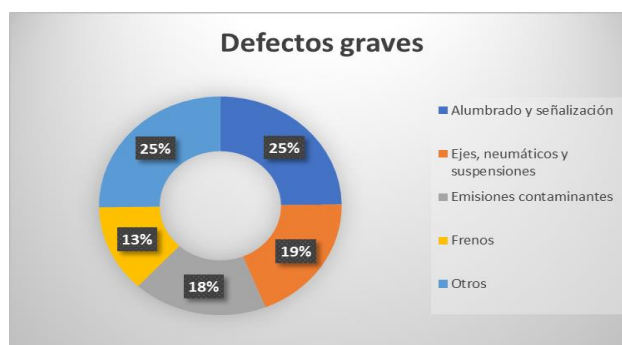


Fig. 1: Defectos graves según sistema inspeccionado

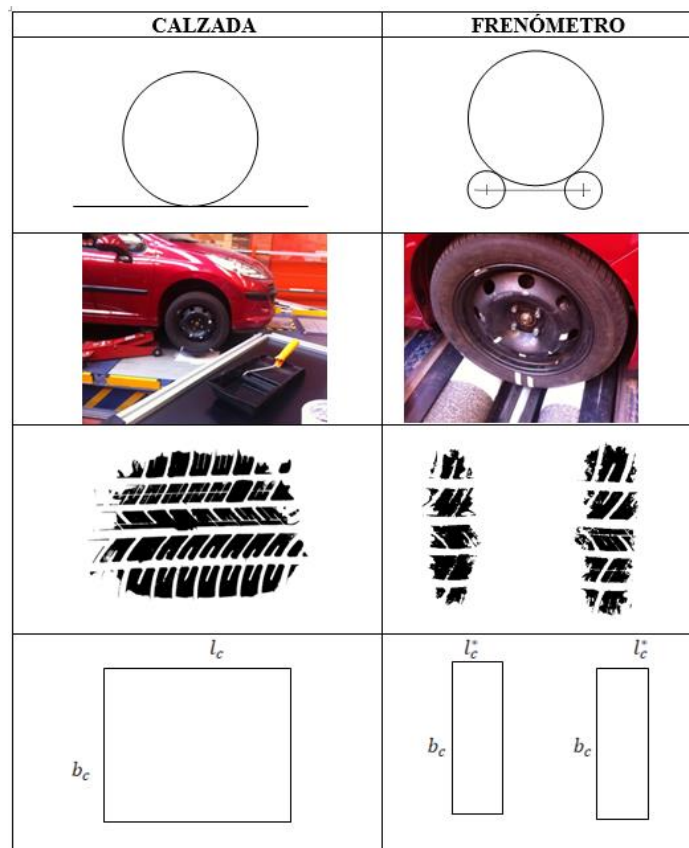
En el caso concreto de los sistemas de frenos, la ITV realiza su inspección con banco de rodillos (frenómetro), midiendo la fuerza de frenado en cada rueda. Este equipo, adaptado para esta inspección, cumple las exigencias del Manual de Procedimiento de Inspección de Estaciones ITV, emitido por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad [3].

Además de este método sobre banco, existen otros equipos con los que también se obtiene el valor de eficacia de frenado de un vehículo. En el presente trabajo se exponen los diferentes sistemas de medición y una comparativa de resultados obtenida experimentalmente. Se aborda el empleo de tres métodos diferentes, se estudia el funcionamiento del frenómetro de rodillos,

con un proceso de frenada estático, el frenómetro de placas, con frenada dinámica y por último un decelerómetro también obteniendo medidas de manera dinámica pero a diferencia de los dos equipos anteriores, este último se embarca en el interior del vehículo.

El contacto entre las superficies del equipo y el neumático son diferentes para los frenómetros estudiados, siendo en el caso del frenómetro de rodillos un contacto entre rodillo y rueda, ambos curvos, a diferencia del contacto plano contra plano que se tiene en la medida en frenómetro de placas o empleando un decelerómetro, siendo este último el más representativo de una frenada real en circulación en carretera, en lo que a contacto se refiere.

En la Fig. 2, se muestran gráficamente ambos casos. Ambas huellas corresponden al mismo neumático sometido a la misma carga vertical y a la misma presión de inflado. Se puede observar el esquema de ambos contactos, el proceso de impresión de las huellas, el resultado y las dimensiones.



**Fig. 2: Huellas de contacto neumático-superficie (superficie plana frente a rodillos):**

A simple vista, puede observarse que, en el caso de contacto de la rueda con ambos rodillos, la huella reduce su longitud,  $l_c$ , y se mantiene constante el ancho  $b_c$ . A cambio, existirán dos huellas de contacto que soportan el mismo peso. El área de contacto en este caso es inferior al área de contacto cuando el neumático se apoya en una superficie plana. Se confirmó en la tesis doctoral [4] que existe influencia sobre la fuerza de frenado en función de la presión de inflado y la carga del vehículo, afirmando en dicho trabajo que se emplea, de media, un 223 % más de fuerza en el pedal obteniendo un aumento del 17 % en la fuerza de frenada máxima,

siendo el mayor aumento para el caso de presión recomendada por el fabricante y solo teniendo como carga el conductor.

En referencia a la dinámica longitudinal del vehículo, en una frenada en carretera a determinada velocidad se debe tener en cuenta la transferencia de carga, situación no contemplada en la frenada sobre banco de rodillos [5].

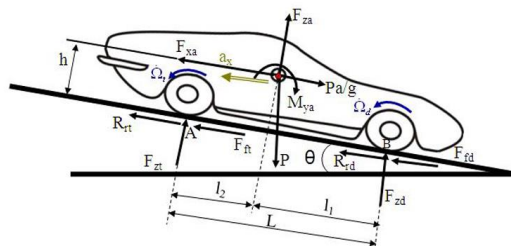


Fig. 3: Equilibrio de fuerzas en situación de frenado

## 2. DESARROLLO

Por lo expuesto anteriormente, se diseñan los ensayos con el objetivo de comparar tres métodos de medición, además de realizar ensayos bajo condiciones de presión de inflado y carga del vehículo diferentes para ver la influencia de las mismas en función del equipo.

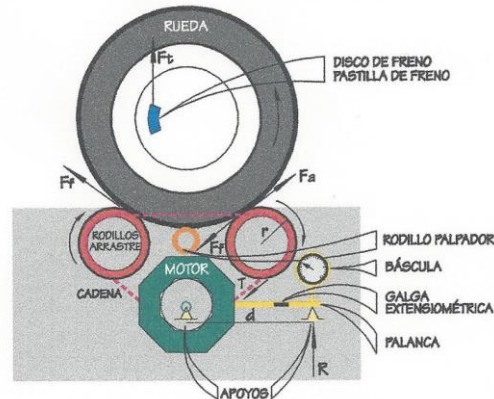
El vehículo de pruebas empleado para los ensayos es un Hyundai i30 del 2007 (Fig. 4), del Instituto de Seguridad de los Vehículos Automóviles de la Universidad Carlos III de Madrid.



Fig. 4: Vehículo de pruebas Hyundai i30 (2007)

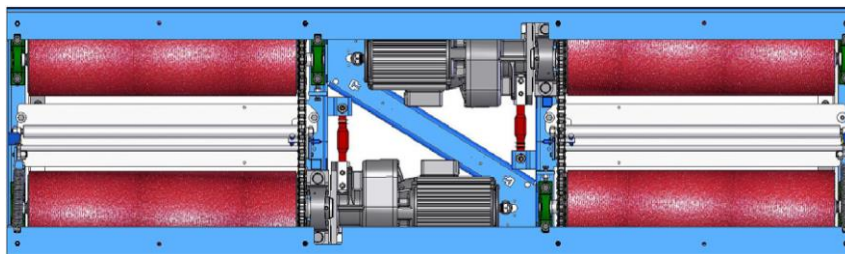
### 2.1 Frenómetro de rodillos

Un frenómetro es capaz de medir los esfuerzos de frenado de cada rueda y de un mismo eje a lo largo de un tiempo determinado, el tiempo desde el comienzo de la frenada hasta la finalización de la misma.



**Fig. 5: Esquema de los componentes esenciales de un frenómetro y su funcionamiento**

En este tipo de frenómetro se posicionan las ruedas del vehículo entre los rodillos de la máquina para realizar la prueba de frenada. En la **Fig. 6** se puede observar como el equipo consta de dos plataformas alineadas entre sí, cada una de las cuales contiene 2 rodillos de arrastre y un rodillo palpador sobre el que se colocan las ruedas del vehículo. Sobre los rodillos de la plataforma izquierda se coloca la rueda izquierda y sobre los rodillos de la plataforma derecha la rueda derecha, ambas de un mismo eje [6].



**Fig. 6: Esquema frenómetro de rodillos**

En la **Fig. 6** también se muestra como existen dos motores trifásicos, uno para cada par de rodillos, y una cadena que sirve como transmisión de la potencia del motor de un rodillo a otro de la misma plataforma.

El método para realizar las pruebas con este equipo es el siguiente: se acelera la rueda mediante rodillos accionados por el motor a un régimen determinado y después se acciona suavemente el freno hasta su máximo recorrido, hasta que la prueba concluye.

En cuanto a los rodillos, su superficie puede tener distintos acabados, los cuales deben proporcionar buena resistencia y gran duración, además de facilitar el cuidado de los neumáticos. Los procesos más utilizados son los de galvanizado en caliente con revestimiento de plástico y corindón o de soldadura con o sin gas. Este recubrimiento debe garantizar una adherencia en el contacto semejante a la presente entre rueda y asfalto.

## 2.2 Frenómetro de placas

Consiste en un conjunto de placas de libre desplazamiento conectadas a unos dinamómetros de precisión (**Fig. 7**). En este caso, el dinamómetro de precisión es el dispositivo que medirá todas las fuerzas generadas en la frenada de manera fiable y precisa, en cualquier condición y para cada una de las ruedas del vehículo independientemente.



**Fig. 7: Frenómetro de placas**



**Fig. 8: Decelerómetro**

Los dinamómetros están conectados a un ordenador, que procesa los datos y es capaz de mostrar en pantalla de manera rápida los resultados de la fuerza de frenada de cada una de las ruedas y la eficacia de frenado. Para la realización de la prueba correctamente el técnico debe entrar con el vehículo en las placas a una velocidad de 5 a 10 Km/h y realizar una frenada suave y progresiva, intentando abarcar la mayor longitud posible de las placas en la operación.

### 2.3 Decelerómetro

El decelerómetro (**Fig. 8**) es un equipo empleado en ITV para aquellos vehículos que no es viable su inspección en los frenómetros, realizando mediciones en dinámico, al igual que con el frenómetro de placas, teniendo en cuenta la transferencia de carga y siendo válido para todo tipo de vehículos. Además, el decelerómetro es el equipo empleado para los ensayos de frenada en homologación, garantizando este método como válido para la medición de eficacia de frenado. Este equipo, a diferencia de los anteriores, no mide fuerza de frenado en rueda sino eficacia de frenado, siendo ésta la suma de las fuerzas de frenado dividida por el peso, siendo un valor expresado en porcentaje. El proceso de utilización es fijar fuertemente el equipo lo más cercano al centro de gravedad, circular a una velocidad constante y frenar hasta la detención del vehículo.

### 2.4 Estados de carga y de presión

Se han realizado 16 combinaciones en total teniendo en cuenta 4 estados de carga y 4 presiones de inflado diferentes, condiciones iguales para el ensayo con cada equipo. Las presiones utilizadas para los neumáticos son de 1,2, 1,6, 2 y 2,5 bar, mientras que la masa añadida será en primer lugar de 0 kg, en segundo lugar 80 Kg, en tercer lugar 150 kg y en cuarto lugar 270 kg.

Las distintas presiones se han aplicado en los neumáticos utilizando un manómetro presente en la estación ITV, mientras que para añadir la masa se dispone de pesos calibrados de distinta masa: 1 peso de 45 kg, 1 peso de 30 kg, 6 pesos de 20 kg y 1 peso de 15 kg. Adicionalmente se añadió para el último estado de carga el peso de un copiloto, siendo de 60 kg.

Para evitar posibles desequilibrios a la hora de realizar las frenadas se busca que el reparto de las masas sea lo más equitativo posible en todo el vehículo, ya que, de lo contrario, las fuerzas medidas en las placas podrían no ser adecuadas. Las masas se colocan de manera que sufran el menor desplazamiento posible, tanto por motivos de seguridad como para evitar problemas en los resultados por este motivo (fuerzas de inercia).

Para conocer el peso que gravita sobre cada eje y la presión del neumático en cada uno de los ensayos se emplearon una báscula y un manómetro respectivamente, ambos calibrados.

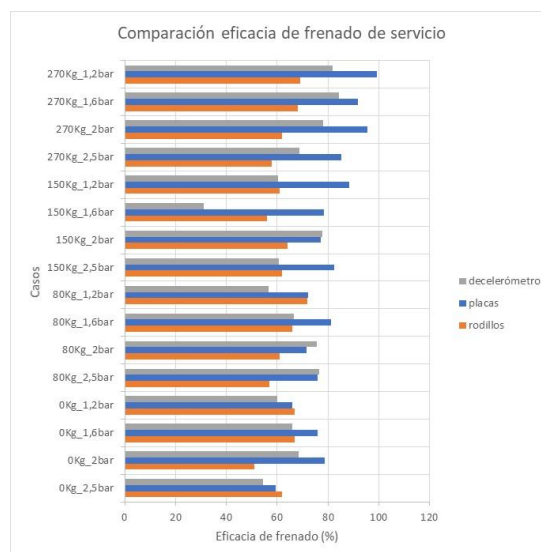
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que el decelerómetro solo mide eficacia de frenado se ha procedido al cálculo de la eficacia para ambos frenómetros, para ello se ha empleado la siguiente ecuación:

$$E (\%) = \frac{\sum F_{frenado} (N)}{m (kg) \cdot g (m/s^2)} \cdot 100$$

Se puede observar en la **Fig. 9**, la comparativa de la eficacia de frenado medida por los tres equipos empleados en todas las condiciones ensayadas. En el 69% de los casos, el frenómetro de placas mide eficacias superiores a los otros dos métodos. En el 18 % de los casos es el decelerómetro el que registra la máxima eficacia y solo en el 13% de los casos el frenómetro de rodillos convencional mide la eficacia mayor. Las mayores diferencias del frenómetro de placas, respecto de los otros dos métodos, se obtienen en las condiciones en las que el vehículo está más cargado. En estos mismos casos en los frenómetros de rodillos se obtienen los mayores valores de eficacia medidos. Esto corrobora la afirmación que cuanto más cargado está el vehículo inspeccionado en la ITV, mayor eficacia de frenado se obtiene, siempre y cuando se encuentren en buen estado, tanto los neumáticos como la superficie del rodillo, es decir, no existan problemas de pérdida de adherencia.

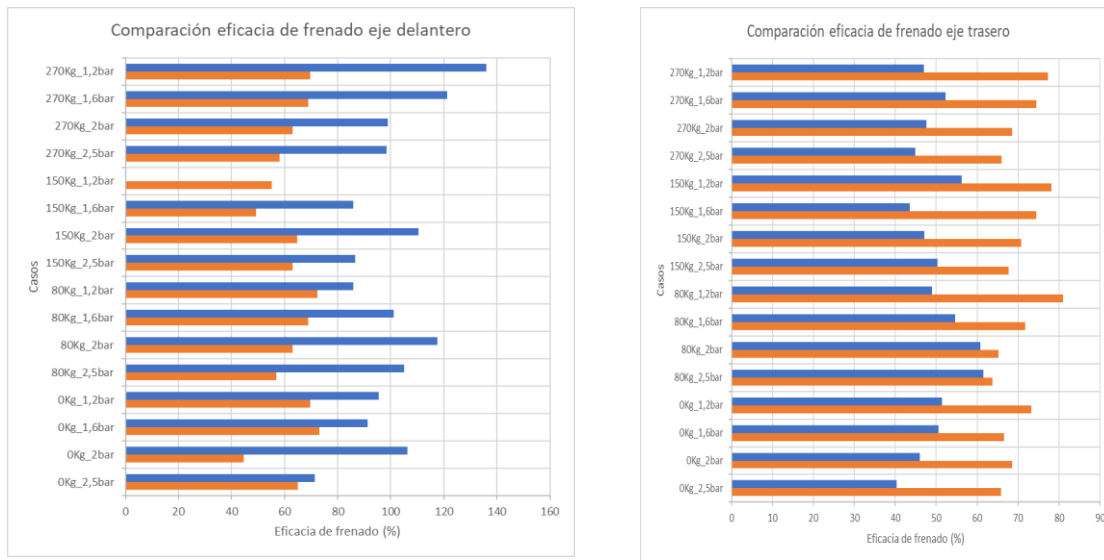
Las condiciones donde ambos frenómetros miden eficacias similares son aquellas con 1,2 bar pero con bajas cargas, a medidas que la carga aumenta, hace que, en dinámico, se obtenga más eficacia de frenado que en estático sobre rodillos, esto es debido a tener una superficie de contacto mayor, al tener una presión más baja que la recomendada por el fabricante y una carga elevada. En la presión de 2 bar, la recomendada, siempre el frenómetro de placas mide valores superiores al de rodillos.



**Fig. 9: Comparativa de eficacia en rodillos (naranja), placas (azul, decelerómetro (gris)**

Para poder conocer la influencia de la transferencia de carga en el proceso, se calcula la eficacia de frenado por eje. De este modo se puede observar si de la eficacia total (**Fig. 9**) se

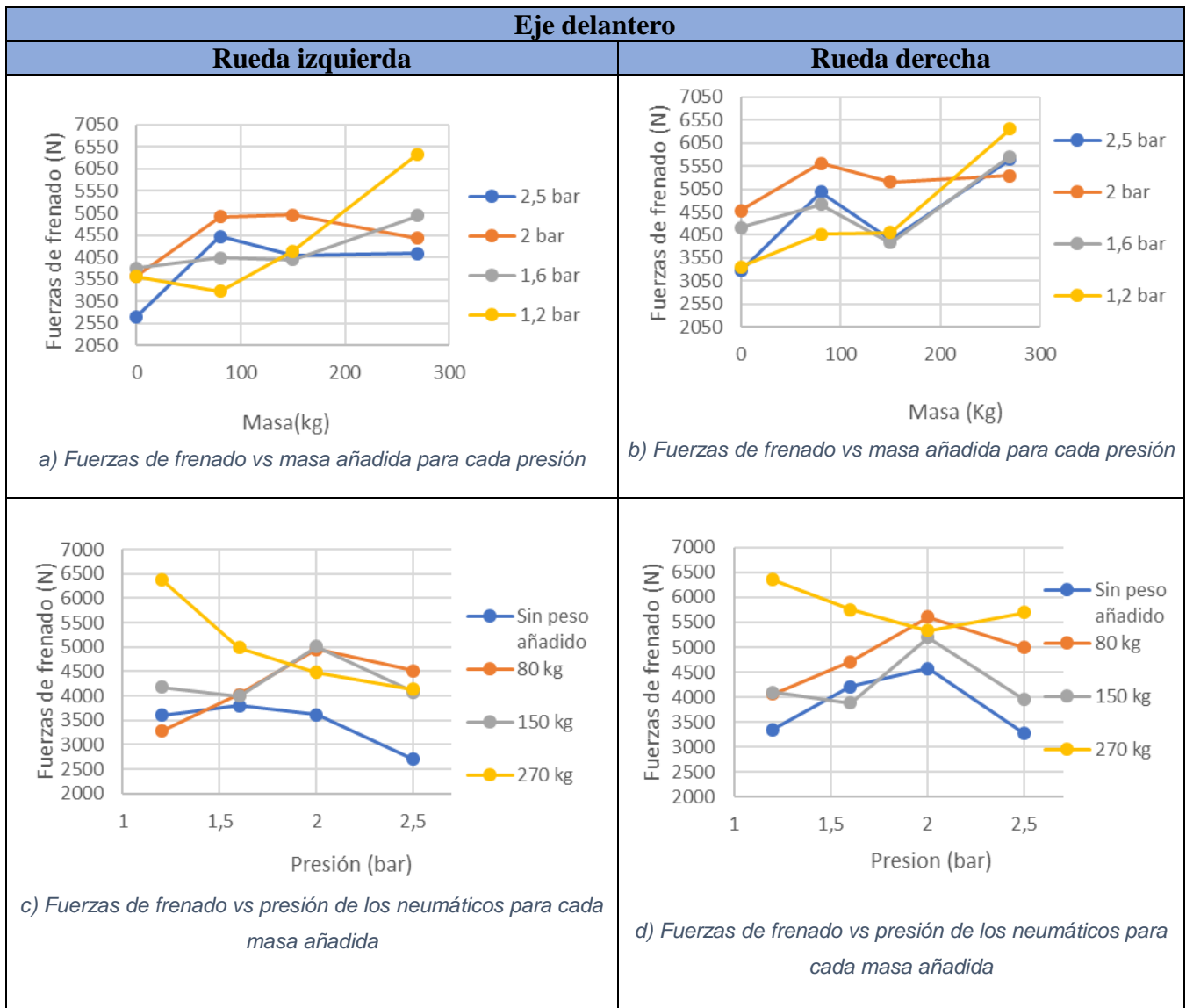
reparte o no por igual en ambos ejes. Este cálculo sólo se puede realizar para los dos métodos de frenómetro ya que el decelerómetro no distingue medidas por eje. Se observa en la **Fig. 10**, que en la frenada dinámica las eficacias del eje delantero son mayores que en el trasero, contrario a lo que ocurre en el frenómetro de rodillos.



**Fig. 10: Comparación eficacia por ejes. placas (azul) vs rodillos (naranja)**

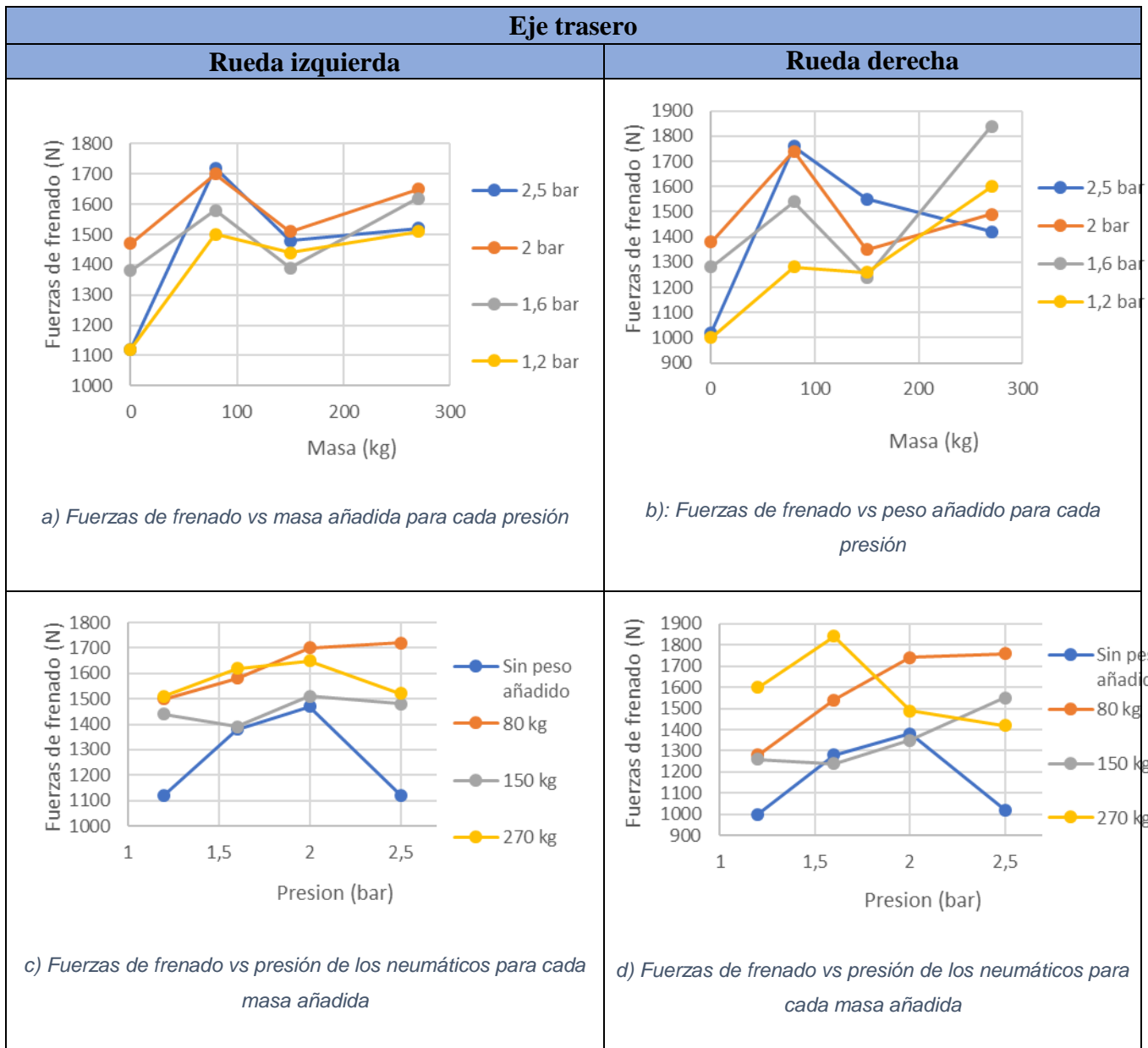
Si se observa por ejemplo la condición e 80 kg a 1,2 bar, la eficacia total de frenado, tanto para rodillos como para placas es aproximadamente de 70%, separando en ambos ejes se obtiene que en placas ese 70 % equivale a 85% en eje delantero y 50% en el trasero, mientras que en rodillos equivale a 70% en el delantero y 80% en el trasero. Se muestra con en este ejemplo que, para eficacias totales similares, en dinámico la trasferencia de carga implica valores de frenada mayores en el eje delantero.

En la **Tabla 1** y la **2** se muestran las gráficas comparativas de la fuerza de frenado con la masa añadida y la presión para el eje delantero y trasero, respectivamente.



**Tabla 1 : Comparativas de la fuerza de frenado con el peso añadido y la presión para el eje delantero**

Se observa cómo el mayor valor de fuerza de frenado se alcanza, en el eje delantero (**Tabla 1**), para el caso de mayor carga (270 Kg) y de mínima presión de los neumáticos (1,2 bares), mientras que el valor mínimo se obtiene para el caso de mínima carga (sin peso añadido) y máxima presión (2,5 bares). Esto es coherente ya que, al aumentar la carga del vehículo y la huella del neumático, aumenta la adherencia.



**Tabla 2: Comparativas de la fuerza de frenado con el peso añadido y la presión para el eje trasero**

Por otro lado, en el eje trasero (2), se aprecia que el valor más elevado de fuerza de frenado se obtiene, en la rueda izquierda, para el caso de 80 Kg y 2,5 bares de presión, mientras que para la rueda derecha se obtiene para el caso de 270 Kg y 1,6 bares de presión en los neumáticos. En cuanto al valor mínimo se obtiene, en la rueda izquierda, para el caso de mínima carga (sin peso añadido) y 2,5 bares de presión y, en la rueda derecha, también para el caso de mínima carga, pero para 1,2 bares de presión. Lo lógico es que el valor máximo y mínimo de fuerzas

de frenado para ambas ruedas hubiera sido para los mismos casos de carga y presión que en el eje delantero (máx: 270 Kg y 1,2 bares / mín: Sin peso añadido y 2,5 bares), debido a las razones que se presentan en el párrafo anterior, pero eso solo se cumple con el valor mínimo de la rueda izquierda de este eje. El valor mínimo de la rueda derecha sigue siendo para el caso de mínima carga, pero para 1,2 bares de presión, siendo muy cercano este valor (1000 N) al valor del caso de 2,5 bares (1020 N). Respecto de los casos en los que se obtienen el valor máximo se alejan bastante más de los casos de 270 kg y 1,2 bar de presión (210 N en la rueda izquierda y 240 N en la rueda derecha). Aunque la diferencia sea mayor, estas fuerzas suponen un peso de aproximadamente 20 kg por rueda, lo que puede indicar un movimiento no deseado de los masas añadidas dentro del vehículo, o simplemente un error en la medición, ya que hay que tener en cuenta que únicamente se ha realizado una medición por cada combinación de pesos y presiones.

Observando de manera general las curvas de las gráficas mostradas, se aprecia un ligero aumento de los valores de los puntos que forman las curvas de fuerzas de frenado con respecto del peso añadido pero una mayor variabilidad de la pendiente de las curvas de fuerzas de frenado con respecto de la presión de los neumáticos, es decir, al aumentar el peso añadido aumentan las fuerzas de frenado, pero al aumentar la presión de los neumáticos no se puede afirmar que éstas aumenten o disminuyan.

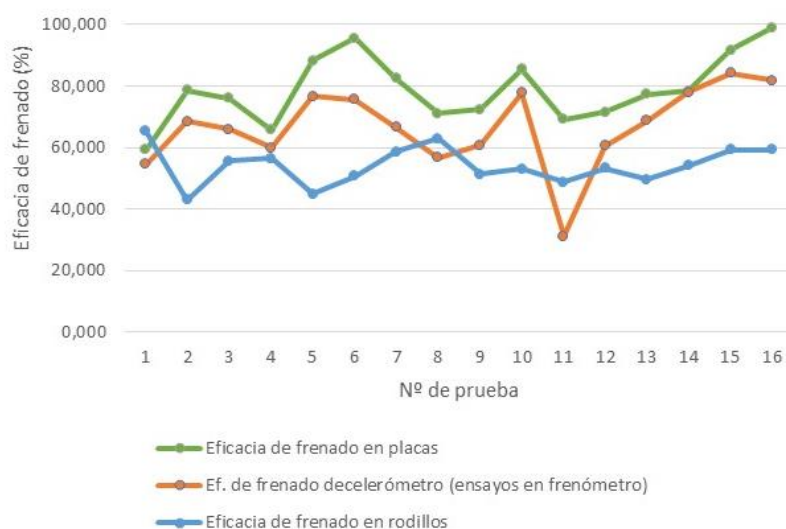


Fig. 11: Comparativa de las distintas eficacias de frenado

#### 4. CONCLUSIONES

Tras el estudio se concluye que los tres métodos ensayados ofrecen valores comparables (Fig. 11). El frenómetro de placas muestra eficacias mayores sobre todo en algún punto debido a las condiciones extremas a las que se ha sometido al vehículo. En ocasiones el frenómetro, marca Vamag ofrece eficacias superiores al 100%, lo cual no es viable. Según las especificaciones del fabricante esto podría ser debido a una elevada velocidad de ensayo, pero no es el caso ya que se ha controlado que se realicen a 5km/h. Podría ocurrir que el material de las placas no esté caracterizado y exista un exceso de adherencia. Para garantizar que no es un problema achacable al tipo de equipamiento, se procedió posteriormente a la comprobación en un frenómetro de placas de nueva generación marca Centralauto y esta situación no sucede.

Otra conclusión a destacar, es que el peso afecta a la fuerza, positivamente en rodillos, y aumenta la fuerza de frenado en placas en el eje delantero y disminuye en el trasero. Respecto de la presión no se puede afirmar que exista una relación tan directa con la variación de presión de inflado de neumáticos.

Tras los ensayos, se observa que la fuerza aplica en el pedal de freno afecta directamente a la fuerza de frenado, en todos los métodos, siendo directamente proporcional.

El frenómetro de placas se emplea con un proceso rápido y sencillo, esto sumado a que los resultados son comparables a los del frenómetro de rodillos, hacen que sea un equipo viable para realizar inspección de frenos en ITV. El único inconveniente a reseñar es que, en la actualidad, este frenómetro no realiza la medición de ovalidad, pero tras estudiar la estadística de rechazo de este punto de inspección se comprueba que es casi despreciable. Por lo contrario, el frenómetro de placas de nueva generación se puede emplear para evaluar la suspensión del vehículo sin añadir pruebas adicionales y por tanto manteniendo el tiempo de inspección.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Anónimo «Sinistros 2021:1004 muertes». (2022,ene).Tráfico y Seguridad Vial DGT. 2022. <https://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2022/01ENERO/0107-Balance-prov-accidentalidad-2021.shtml> (acceso: 10 de junio de 2022)
- [2] Díaz V. *et al* «Contribución de la Técnica de Vehículos (ITV) a la seguridad vial y medio ambiente», 2016.
- [3] Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, «Manual de procedimiento de inspección de las estaciones ITV.(7.6.1)». jul-2022.
- [4] S. Sanz Sánchez, "Modelo de frenado del neumático de un vehículo turismo en un frenómetro de rodillos", Tesis doctoral UC3M, 2016
- [5] Díaz V. *et al.*, *Ferrocarriles y automóviles*. UNED, 2012.
- [6] AENOR, «UNE 82502:2007. Instrumentos destinados a medir las fuerzas de frenada de vehículos a motor: Frenómetros de rodillo.» 03-ene-2007.

## 6. AGRADECIMIENTOS

A la empresa de APPLUS TECHNOLOGY SL y en concreto al personal de la ITV de PINTO por la utilización del equipamiento de la estación.

A la empresa TEKNIKA BEREZIAK, S.L. – CENTRALAUTO por el apoyo técnico y utilización de sus medios, incluyendo el nuevo modelo de frenómetro de placas.