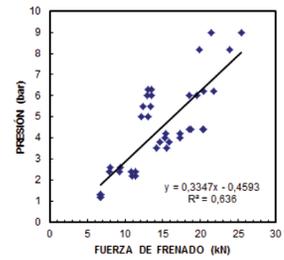


# Inspección de la eficacia de frenado para vehículos de masa máxima autorizada superior a 3500 kg mediante el método de extrapolación



## Braking effectiveness inspection for vehicles with a mam over 3500 kg using the extrapolation method



Antonio González-Carpena, Félix Cesáreo Gómez-de-León-Hijos, Francisco Miguel Moral-Moreno y Mariano Alarcón-García

Universidad de Murcia. Campus de Espinardo - 30100 Murcia (España). Tfno: +34 868887191. agoncar@um.es

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7562> | Recibido: 16/02/2015 • Aceptado: 29/04/2015

### ABSTRACT

- In January 2012, Directive 2009/40/EC, of the European Parliament and of the Council, came into force, on roadworthiness tests for motor vehicles and their trailers, which Annex II was amended by Directive 2010/48/EU. This directive provides that, for measuring the braking effectiveness of vehicles of more than 3500 kg, it must be applies ISO 21069-1:2004 or equivalent method. The fundamental result is the establishment of braking effectiveness values for laden vehicles, which means, in practice, the change of the measurement procedures at Inspection Stations, with heavy investment in machinery and civil works, as well as pose a problem for users of certain types of vehicles that cannot go laden to inspections, such as buses and vehicles carrying dangerous goods. In this article, the procedures described in the above Directive will be analyzed in order to find the most suitable one for implementation in Inspection Stations, useful for all types of vehicles, minimizing these investments to be done and complying with the requirement indicated in the Directive: "technical inspection should be relatively simple, quick and cheap".
- **Key words:** road safety, brakes, technical inspection, vehicle inspection, braking effectiveness.

### RESUMEN

En enero de 2012 entró en vigor la Directiva 2009/40/CE, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y sus remolques, cuyo Anexo II fue modificado por la Directiva 2010/48/UE. Dicha directiva establece que, para la medición de la eficacia de frenado de servicio de los vehículos de más de 3500 kg, se debe aplicar la norma ISO 21069-1:2004 o un método equivalente. La consecuencia fundamental es el establecimiento de valores de eficacia de frenada para vehículos industriales cargados, lo que supone, en la práctica, variar los procedimientos de medición en todos los centros de inspección técnica de vehículos, con fuertes inversiones en maquinaria y obra civil, además de plantear un problema para los usuarios de cierto tipo de vehículos que no pueden presentarse a inspección cargados, como es el caso de los autobuses y los vehículos que transportan mercancías peligrosas.

En el presente artículo, se analizan los procedimientos descritos en la citada norma con el propósito de encontrar el más adecuado para su implantación en las estaciones de ITV, útil para todos los tipos de vehículos, minimizando las inversiones a rea-

lizar, y cumpliendo con el requisito indicado en la Directiva que sostiene que la inspección técnica "debe ser relativamente simple, rápida y barata".

**Palabras clave:** seguridad vial, ISO 21069, frenos, inspección técnica, inspección de vehículos, eficacia de frenado.

### 1. INTRODUCCIÓN

La inspección técnica de vehículos es un procedimiento que se aplica en muchos países por todo el mundo en base a una legislación de carácter nacional normalmente, aunque existen también normas, como los Reglamentos de Ginebra o las ISO, que armonizan estos procedimientos a nivel mundial.

Concretamente en la Unión Europea, en julio de 2010, se publicó la Directiva 2010/48/UE [1] de la Comisión Europea, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 2009/40/CE [2] del Parlamento y del Consejo Europeo, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y de sus remolques, modificando su Anexo II.

En el punto 1.2.2. de dicha Directiva, se indica que la evaluación de la eficacia de frenada debe realizarse mediante una prueba en aparato estático de comprobación de frenos o en carretera empleando un decelerómetro registrador. Además, establece que la inspección de los vehículos de masa máxima autorizada (MMA) superior a 3500 kg deben regirse por la ISO 21-069-1 [3] o un método equivalente.

Este cambio normativo ha significado una revolución en la Inspección Técnica de Vehículos en Europa, dado antes la prueba se podía realizar en vehículos descargados. Por ello, se ha estado investigando incansablemente acerca de cómo optimizar esta nueva situación. En anteriores trabajos, se ha estudiado el cambio normativo [4] y la inspección de la válvula ALB [5].

Un procedimiento similar está contemplado por la *National Highway Traffic Safety Administration* de EEUU, aunque no obliga a aplicar la norma ISO 21069-1 ni, por tanto, a que los vehículos acudan cargados a la inspección.

Esto ocasiona múltiples problemas, tanto para las estaciones donde se realiza la inspección técnica, que deben realizar fuertes inversiones para adaptar nueva maquinaria, como para los usuarios de los vehículos industriales, que muchas veces no disponen de la carga necesaria para la realización de esta inspección, debiendo de proceder incluso a varias operaciones de carga y descarga cuando el vehículo es rechazado en la inspección, que, en ocasiones debe ser reparado para posteriormente volver a comprobar la subsanación de los defectos hallados.

El Reglamento de homologación CEPE/ONU número 13 [6] plantea como solución alternativa realizar la prueba mediante comprobación de presiones en el circuito de freno.

En este trabajo, se analizan las diferentes opciones planteadas en la normativa actual para el cálculo de la eficacia de frenada en los vehículos de MMA mayor de 3500 kg con el fin de establecer un procedimiento fiable para la inspección técnica de la eficacia de frenada sin que suponga un coste excesivo en infraestructuras o instalaciones.

## 2. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN EXISTENTES

### 2.1. DIRECTIVA 2010/48/UE [1]

Se entiende por eficacia de frenado (E) la relación de las fuerzas de frenado con respecto a la masa máxima autorizada (MMA) o, si se trata de semirremolques, a la suma de las cargas por eje autorizadas. Se trata de un valor indicativo del estado y actuación global del sistema de frenos del vehículo.

La eficacia de frenado se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{F}{MMA \times g} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

- E: eficacia de frenado (%).
- F: suma de todas fuerzas de frenado, en este caso, suma de las lecturas del frenómetro para todas las ruedas (N).
- MMA: Masa Máxima Autorizada del vehículo (kg). Si se trata de semirremolques, suma de las masas máximas autorizadas por eje.
- g: aceleración de la gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Como norma general, los vehículos con MMA > 3.500 kg se inspeccionarán en un estado de carga tal que permita alcanzar los valores de eficacia mínimos definidos en el método y no suponga peligros o molestias para el personal o usuarios de la estación. Pero si se dispone de métodos de simulación de carga, se podrán aplicar en función de las características técnicas del vehículo.

Además, las estaciones que dispongan de los medios adecuados podrán someter a los vehículos de más de 3.500 kg de MMA con sistema de frenado puramente neumático a la prueba de frenado según el método de extrapolación de dos puntos descrito en la norma ISO 21069-1 o método equivalente. Esta opción sólo se aplicará a vehículos con conexiones de prueba para la medida de presiones de frenado normalizadas, accesibles y operativas.

### 2.2. ISO 21069-1:2004 [3]

La parte 1 de la norma ISO 21069 especifica cómo determinar la eficacia de frenado en un frenómetro de rodillos de los vehículos de carretera que tengan una masa máxima autorizada total de más de 3500 kg y estén equipados con sistemas de frenos neumáticos. Es decir, no puede aplicarse a los vehículos con sistema de frenado hidroneumático, que son prácticamente todos los vehículos comprendidos entre 3500 y 12000 kg, que corresponde aproximadamente con el 15 % del parque de vehículos industriales que existen en España (Figura 1). Aunque también se aplica a los sistemas electrónicos de frenado (EBS).

El propósito de esta norma es establecer un protocolo de actuación que asegure unos resultados de medición estandarizados, dando lugar a una evaluación fiable de la eficacia de frenado de servicio.

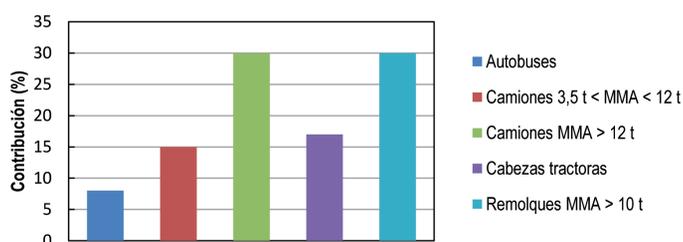


Figura 1: Parque español de vehículos industriales (Fuente: CARM)

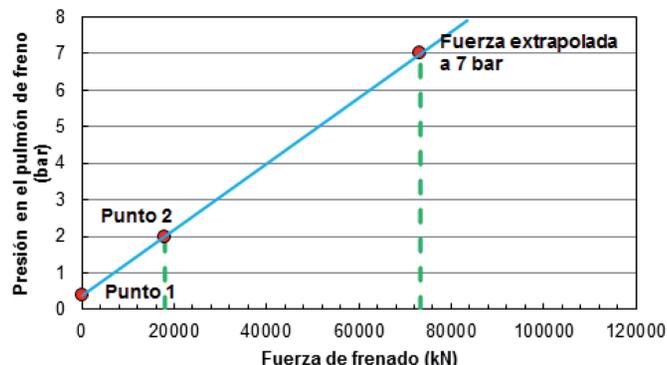


Figura 2: Método extrapolación de un punto según ISO 21069-1

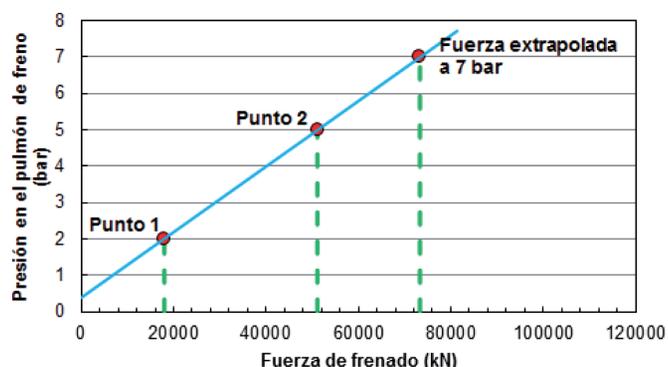


Figura 3: Método extrapolación de dos puntos según ISO 21069-1

En primer lugar, establece el ensayo con vehículo cargado, que se realiza mediante el método de inspección mecanizada con la ayuda de un frenómetro o dispositivo adecuado, donde se verificará la relación de las fuerzas de frenado respecto a la masa máxima autorizada o, si se trata de semirremolques, a la suma de las cargas por eje autorizadas.

La eficacia de frenado se determina directamente midiendo la fuerza de frenada del vehículo, no requiriendo ninguna extrapolación en estas condiciones. Se calcula como:

$$z_{Mlad} = \frac{\sum F_i}{F_{Mmax}}; \text{ para vehículos a motor} \quad (2)$$

$$z_{Rlad} = \frac{\sum F_i}{F_{Rmax}}; \text{ para remolques y semirremolques} \quad (3)$$

Dónde:

- $z_{Mlad}$ : eficacia de frenada de vehículo cargado (en tanto por uno).
- $z_{Rlad}$ : eficacia de frenada de remolque o semirremolque cargado (en tanto por uno).
- $F_i$ : fuerza de frenado en la circunferencia del neumático sobre el eje  $i$  (N).

- $F_{M\max}$ : reacción estática máxima del vehículo (N).
- $F_{R\max}$ : reacción estática máxima de todos los ejes del semi-remolque (N).

Por otro lado, la norma establece el método de extrapolación de un punto, que se realiza mediante el método de inspección mecanizada con la ayuda de un frenómetro o dispositivo adecuados y midiendo la presión de aire en los cilindros de freno para verificar en el mismo la relación de las fuerzas de frenado respecto a la masa real con la que el vehículo se presenta a inspección, extrapolando posteriormente a un valor fijo de presión de aire correspondiente a vehículo cargado (Figura 2).

Se deben de tener en cuenta las siguientes prescripciones:

- Se debe de alcanzar al menos un 30 % de la presión de diseño del pulmón de freno, ya sea cargando ligeramente el vehículo o con simulación de carga.
- La presión de partida que marca el primer punto de la recta de extrapolación se considera fijo a 40 kPa (0,4 bar) y 0 N.
- La extrapolación se realizará a la presión mínima de diseño  $P_{Aladi}$ .

La eficacia de frenado se determina por la expresión:

$$z_{Mlad} = \frac{\sum F_{Bi}}{F_{M\max}} \quad ; \text{ para vehículos a motor} \quad (4)$$

$$z_{Rlad} = \frac{\sum F_{Bi}}{F_{R\max}} \quad ; \text{ para remolques y semirremolques} \quad (5)$$

Siendo:

$$F_{Bi} = F_i R_{pi} \quad (6)$$

$$R_{pi} = \frac{P_{Aladi} - 40}{P_{Ai} - 40} \quad (7)$$

Dónde:

- $F_{Bi}$ : fuerza de freno extrapolada a la presión  $P_{Aladi}$  (N).
- $P_{Aladi}$ : mínima presión de actuación de los pulmones de freno en el eje  $i$  cuando el vehículo va cargado (kPa).
- $P_{Ai}$ : presión de actuación en el eje  $i$  (kPa).

Finalmente, propone el método de extrapolación de dos puntos, realizándose como el anterior, pero tomando otro valor de frenada en lugar de considerar el primer punto fijo (Figura 3).

DAF CF 75.360				
MTMA/MMA (kg)	EJE 1	7.500 / 7.500	Voladizo posterior (mm)	2.430
	EJE 2	9.500 / 9.500	Longitud total (mm)	10.010
	EJE 3	9.500 / 9.500	Distancia ejes 1-2 (mm)	4.800
Neumáticos	10/315/80 R22.5		Distancia ejes 2-3 (mm)	1.400
MMA (kg)	26.000		Sistema de frenado	Neumático

Tabla 1: Características técnicas vehículo con el que se realizaron los ensayos

Teniendo en cuenta las prescripciones del método de extrapolación de un punto, la eficacia de frenado se determina con la siguiente expresión:

$$z_{Mlad} = \frac{\sum F_{Bi}}{F_{M\max}} \quad ; \text{ para vehículos a motor} \quad (8)$$

$$z_{Rlad} = \frac{\sum F_{Bi}}{F_{R\max}} \quad ; \text{ para remolques y semirremolques} \quad (9)$$

Siendo:

$$F_{Bi} = F_{Hi} + R_{Fi}(P_{Aladi} - P_{AHi}) \quad (10)$$

$$R_{Fi} = \frac{F_{Hi} - F_{Li}}{P_{AHi} - P_{ALi}} \quad (11)$$

Dónde:

- $F_{Hi}$ : fuerza de frenado en la circunferencia del neumático sobre el eje  $i$  a la presión de actuación  $P_{AHi}$  (N).
- $P_{AHi}$ : presión de actuación más alta en el eje  $i$  (kPa).
- $F_{Li}$ : fuerza de frenado en la circunferencia del neumático sobre el eje  $i$  a la presión de actuación  $P_{ALi}$  (N).
- $P_{ALi}$ : presión de actuación más baja en el eje  $i$  (kPa).

### 3. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN (PLANTEAMIENTO INICIAL)

El grupo de trabajo de frenos del Ministerio de Industria, propone que los vehículos con frenado hidroneumático o puramente hidráulico sean inspeccionados en carga, y recomienda que la masa del vehículo en el momento de la inspección esté en el entorno de los 2/3 de su MMA.

Para los vehículos con sistema de frenado neumático propone aplicar la norma ISO 21069-1, indicando que para el cálculo de la eficacia de frenado se utilizará la masa máxima autorizada del vehículo que figura en su documentación técnica y propone dos métodos de cálculo:

#### 3.1. MÉTODO DE CÁLCULO DE LA EFICACIA SIN EXTRAPOLACIÓN

Se someterá al vehículo a la prueba de frenado con carga próxima a su MMA. De esta manera se tiene la total certeza de que se está evaluando toda la capacidad del sistema de frenado.

No se aplicará el método a los siguientes casos:

- Vehículos en los que la carga puede resultar molesta o peligrosa para los trabajadores y usuarios de un centro de inspección (transporte de materias peligrosas, transporte de animales, recogida de basuras, etc.)
- Vehículos de transporte colectivo de personas, por razones obvias.

En el resto, los vehículos deben presentarse a inspección con una carga fuera de las operaciones de transporte.

#### 3.2. MÉTODO DE CÁLCULO DE LA EFICACIA CON EXTRAPOLACIÓN

Para la aplicación de este método, salvo que se disponga de especificaciones del fabricante del vehículo o que la administra-

ción competente acepte otros parámetros, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Se utilizará el método de extrapolación de un punto definido en la norma ISO 21069 con el primer punto de referencia fijo en 40 kPa (0,4 bar) y 0 N.
- Para permitir extrapolar, la medida realizada en cada uno de los ejes debe corresponder a un valor de presión mayor de 200 kPa (2 bar).
- Se extrapolará a una presión de cálculo de 800 kPa (8 bar).
- Si durante la prueba en algún eje no se alcanza el valor mínimo para permitir la extrapolación (2 bar), se podrá considerar el valor de fuerza de frenado real obtenido en el ensayo de dicho eje para el cálculo de la eficacia del vehículo.

### 3.3. SIMULACIÓN DE CARGA

En el caso de que no se alcancen los 2 bares de presión en alguno de los ejes para el método de extrapolación o los 2/3 de la MMA para el método sin extrapolación, se puede complementar con técnicas de simulación de carga tales como:

- Lastrado de los vehículos
- Aplicación de cargas en el chasis
- Elevación de alguno de los ejes
- Otros.

tro digital de la marca MAHA, dotado de un sistema de simulación de carga por elevación.

La simulación de carga por elevación consiste en elevar el eje del vehículo de tal modo que toda la carga descansa solamente sobre uno de ellos, activando por consiguiente la válvula sensora de carga que conecta el segundo eje del camión con el bastidor del mismo.

Para la medición del peso del vehículo se utilizó una báscula pesa-ejes de la marca METTLER TOLEDO.

ENSAYO	ESTADO DE CARGA
1a	Vehículo Cargado a su MMA
1b	Vehículo Cargado a su MMA
2a	Vehículo Cargado a 2/3 MMA
2b	Vehículo Cargado a 2//3 MMA
3a	Vehículo Cargado a eficacia mínima.
3b	Vehículo Cargado a eficacia mínima.
4a	Vehículo Descargado
4b	Vehículo Descargado
5	Vehículo Descargado con Simulación en todos los ejes
6	Vehículo Descargado con Simulación en ejes traseros

Tabla 2: Ensayos realizados

## 4. MATERIALES EMPLEADOS EN EL ENSAYO

### 4.1. VEHÍCULO

Para comprobar la fiabilidad del método de inspección se seleccionó el vehículo (Figura 4) cuyas características técnicas se indican resumidas en la Tabla 1.

Además, se tuvo que adaptar las tomas de presión de prueba de los cilindros de freno.

### 4.2. INSTRUMENTACIÓN

Para simular los diferentes estados de carga se utilizó un juego de pesas patrón de las usadas para la calibración de básculas, todas ellas con certificados de calibración con patrones trazables internacionales.

Para medir la presión en los pulmones de freno se utilizaron tres manómetros analógicos WABCO (uno por eje).

Para la medición de la fuerza de frenada se utilizó un frenóme-

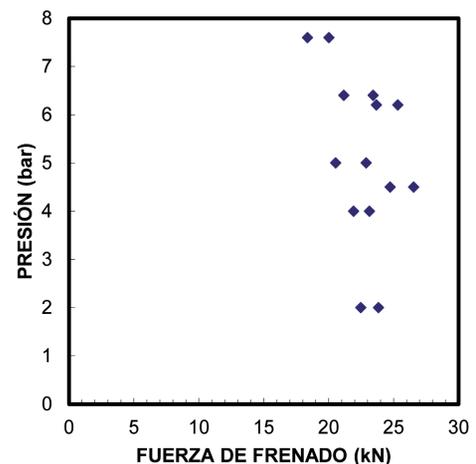


Figura 10: Análisis de los datos obtenidos en el eje delantero

EJE	PESO (kg)	PRESIÓN CORREGIDA (bar)	FUERZA FRENADA (kN)		PESO (kg)	PRESIÓN CORREGIDA (bar)	FUERZA FRENADA (kN)		
			RUEDA IZQUIERDA	RUEDA DERECHA			RUEDA IZQUIERDA	RUEDA DERECHA	
ENSAYO 1a					ENSAYO 4a				
1	6420	7,6	18,38	20,03	6305	5,0	22,9	20,55	
2	9785	9,0	21,42	25,45	3130	2,6	9,38	7,99	
3	9930	6,2	20,38	21,75	3040	1,2	6,7	6,75	
ENSAYO 2a					ENSAYO 5				
1	6255	6,4	21,18	23,43	6305	4,2	23,84	22,49	
2	5980	3,8	15,9	14,58	6170	4,4	20,34	18,56	
3	5910	5,0	12,16	13,05	6170	2,2	10,97	11,41	
ENSAYO 3a					ENSAYO 6				
1	6382	4,5	26,56	24,75	6305	4,0	21,93	23,15	
2	6747	4,0	17,27	15,3	6170	4,4	20,44	18,74	
3	6716	6,0	12,98	13,48	6170	2,4	10,79	11,41	

Tabla 3: Datos experimentales

## 5. DATOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES ENSAYOS

Con el propósito de llevar un exhaustivo estudio del procedimiento propuesto, se realizaron diez ensayos a diferentes estados de carga (Tabla 2).

En todos los ensayos se tomaron datos de frenada y presión máximas de actuación del circuito de frenos, además de pesar el vehículo por ejes, obteniendo los datos recogidos en la Tabla 3 (se presentan sin duplicidad).

## 6. TRATAMIENTO DE DATOS EXPERIMENTALES

### 6.1. EJE DELANTERO

Si se representan los valores de la presión frente a la fuerza de frenado, se obtiene una nube de puntos (Figura 10) debido a que la fuerza de frenado se comporta como prácticamente independiente de la presión de frenada, al no poseer el vehículo **válvula reguladora de carga**. Dicha válvula es la encargada de aumentar la presión del circuito de frenada en función de la carga del vehículo, impidiendo el bloqueo de las ruedas traseras antes que las delanteras, por lo tanto en este caso la presión de actuación en el eje delantero siempre es la misma (máxima), viéndose poco influenciada por el estado de carga.

A continuación, se comprobará que la distribución de datos es Normal, aplicando el teorema de Chebyshev. Para ello se calcula la desviación típica ( $s$ ) y la media ( $\bar{x}$ ) de los valores de presión de frenada en el eje delantero, obteniendo:

$$\bar{x} = 5.4 \text{ bar}$$

$$s = 1.24 \text{ bar}$$

De los 20 valores, 16 se encuentran dentro del intervalo  $\bar{x} - s$  y  $\bar{x} + s$ , es decir, más del 68 %, por lo que podemos considerar la distribución de valores de presión de frenada como Normal.

Para los valores de fuerza de frenada se repite el proceso:

$$\bar{x} = 22.72 \text{ kN}$$

$$s = 2.26 \text{ kN}$$

De los 20 valores, 14 se encuentra dentro del intervalo  $x - s$  y  $x + s$ , es decir más del 68 % por lo que se puede considerar la distribución de valores de fuerza de frenada como Normal.

Para realizar un estudio sobre la validez del método, se calcularán los valores de eficacia corrigiendo los valores de presión y fuerza de frenada a sus estadísticos centrales para el eje delantero (ver más adelante Tabla 4).

### 6.2. EJES TRASEROS

Se representan todos los valores de fuerza y presión de frenada en el eje trasero obtenidos en los ensayos realizados a diferentes estados de carga (Figura 11).

Al contrario de lo que sucede en el eje delantero, se puede comprobar que los puntos se concentran alrededor de una recta de regresión. El alto coeficiente de correlación calculado ( $r = 0.80$ ) indica que la dependencia entre las dos variables es fuerte. Los datos obtenidos (Figura 13) se corresponden con el funcionamiento de la válvula sensora de carga.

Una vez obtenida la recta de regresión, al igual que se ha hecho para el eje delantero, se corrigen los valores obtenidos de presiones para poder así establecer mejor la bondad del método, obteniendo los datos que se presentan en la Tabla 4.

### 6.3. RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA EFICACIA DE FRENADA

A continuación, se muestran en la Tabla 5 los valores obtenidos en los ensayos para la eficacia de frenada, calculada según los dos métodos anteriormente explicados en los apartados 2.1. y 2.2.

## 7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se comprobará la fiabilidad del método de extrapolación de un punto definido en la norma ISO con los condicionantes de la propuesta del Grupo de Trabajo de Frenos.

El valor de eficacia respecto al cual se comprobarán el resto de resultados será la media de los obtenidos en los dos primeros ensayos (1b y 1b), puesto que se realizaron con el vehículo cargado a su MMA, resultando un 50,60 %.

Lo primero que se observa en la Figura 12 es que, trabajando con los valores sin corregir, hay varios por encima del 100 %. Esto es debido a que, cuando los valores de fuerza de frenada son altos y los de presión excesivamente bajos, al aplicar las ecuaciones,

EJE	PESO (kg)	PRESIÓN CORREGIDA (bar)	FUERZA FRENADA (kN)		PESO (kg)	PRESIÓN CORREGIDA (bar)	FUERZA FRENADA (kN)	
			RUEDA IZQUIERDA	RUEDA DERECHA			RUEDA IZQUIERDA	RUEDA DERECHA
ENSAYO 1a					ENSAYO 4a			
1	6420	5,4	22,72	22,72	6305	5,4	22,72	22,72
2	9785	7,4	21,42	25,45	3130	2,4	9,38	7,99
3	9930	6,6	20,38	21,75	3040	1,8	6,70	6,75
ENSAYO 2a					ENSAYO 5			
1	6255	5,4	22,72	22,72	6305	5,4	22,72	22,72
2	5980	4,6	15,90	14,58	6170	6,1	20,34	18,56
3	5910	3,8	12,16	13,05	6170	3,3	10,97	11,41
ENSAYO 3a					ENSAYO 6			
1	6382	5,4	22,72	22,72	6305	5,4	22,72	22,72
2	6747	5,0	17,27	15,3	6170	6,1	20,44	18,74
3	6716	4,0	12,98	13,48	6170	3,3	10,79	11,41

Tabla 4: Datos corregidos

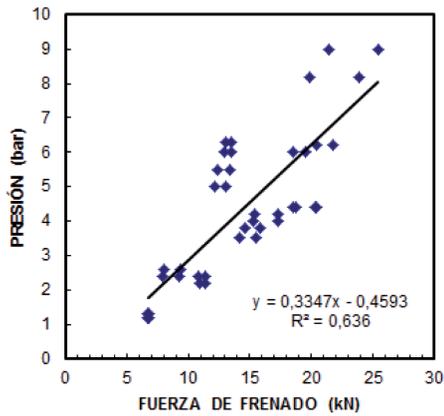


Figura 11: Análisis de los datos obtenidos en los ejes traseros

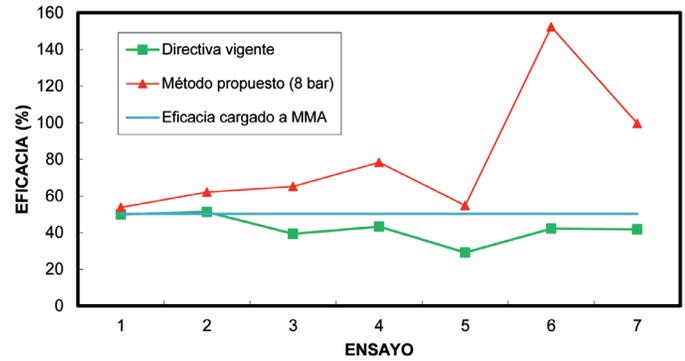


Figura 12: Resultados de los ensayos con los datos sin corregir

resulta una fuerza de frenada extrapolada demasiado sobredimensionada. Por ello se trabajará con datos corregidos (Figura 13).

### 7.1. DATOS CORREGIDOS CON PRESIÓN DE REFERENCIA FIJA EN 8 BAR

Como se puede observar en la Figura 13, el método propuesto difiere significativamente de los valores de eficacia real sobre todo cuando el vehículo se presenta con carga.

Por otro lado, los 2/3 de MMA no sirven como criterio de vehículo cargado, puesto que en el caso de estudio el vehículo con estas condiciones de carga, y según el procedimiento propuesto en este trabajo, sería rechazado en la inspección al alcanzar una eficacia del 39,22 %, cinco puntos menor que la mínima exigible para este vehículo que, según la normativa, es del 45 % y siempre lejos de la eficacia real a vehículo cargado del 50,60 %.

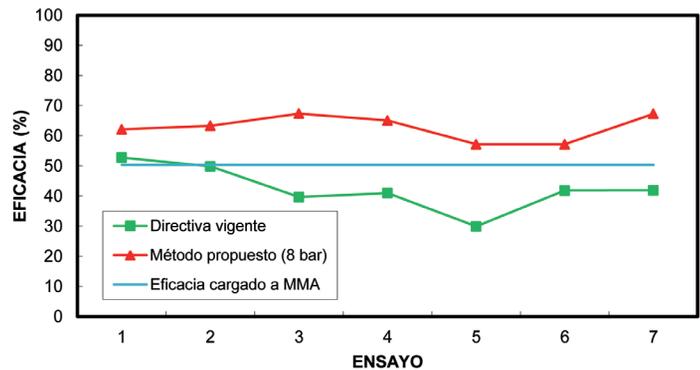


Figura 13: Resultados de los ensayos con los datos corregidos extrapolando a 8 bar

### 7.2. EXTRAPOLACIÓN A UN PUNTO CON PRESIÓN DE REFERENCIA FIJA EN 6 BAR

Tal y como se puede ver en la Figura 14, donde se ha cambiado la curva de eficacia extrapolada a 8 bar de la Figura 16 por la de 6 bar, este método se asemeja mejor a la frenada real del vehículo.

La clave está en definir la presión de extrapolación. La norma establece que se debe de extrapolar a la mínima presión de actuación de los pulmones de freno, que es variable para cada fabricante y puede ir desde los 6 bar hasta los 11 bar. En el vehículo de ensayo, la que más se aproxima a la realidad es la de 6 bar.

Por otro lado, este dato coincide con lo indicado en el Anexo II la Directiva 71/320/CE [5] y en el Reglamento CEPE/ONU número 13 [3].

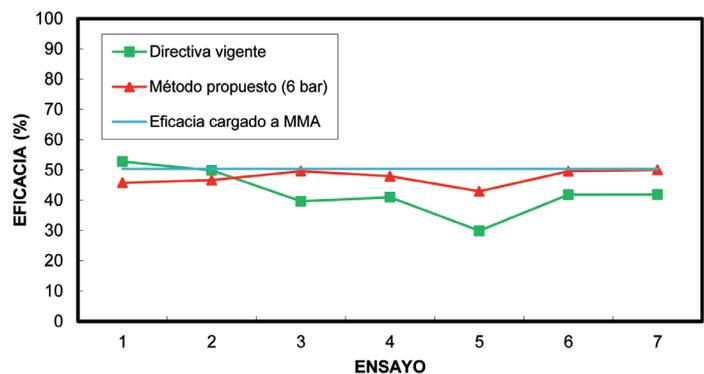


Figura 14: Resultados de los ensayos con los datos corregidos extrapolando a 6 bar

ENSAYO	REAL		EXTRAPOLADO 6 BAR		EXTRAPOLADO 8 BAR	
	DIRECTIVA VIGENTE	MÉTODO PROPUESTO	DIRECTIVA VIGENTE	MÉTODO PROPUESTO	DIRECTIVA VIGENTE	MÉTODO PROPUESTO
1a	49,95	53,78	52,71	49,51	52,71	67,20
1b	51,25	62,10	49,85	49,87	49,85	67,69
2a	39,32	65,20	39,65	52,09	39,65	70,70
2b	38,00	62,30	39,55	52,09	39,55	70,69
3a	43,26	78,33	40,96	51,69	40,96	70,15
3b	43,48	78,49	41,08	51,66	41,08	70,10
4a	29,12	54,77	29,90	41,79	29,90	55,53
4b	28,96	56,11	29,84	41,90	29,84	55,67
5	42,19	102,35	41,85	51,98	41,85	70,54
6	41,74	99,57	41,88	52,00	41,88	70,58

Tabla 5: Resultados de eficacia de frenada, E (%)

Como se puede comprobar, si se conoce la presión de funcionamiento del sistema neumático de frenada, se obtienen unos valores de eficacia de frenada mantienen próximos a la real independientemente del estado de carga del vehículo, siendo entonces un método completamente fiable para la evaluación del sistema de frenado.

## 8. PROPUESTA DEFINITIVA DE PROCEDIMIENTO

El procedimiento que se propone para la aplicación práctica del método de extrapolación indicado en la norma ISO 21069, que es aplicable solamente a los vehículos que disponen de un sistema neumático de frenado, es el que sigue:

- Se mide la fuerza de frenado y su correspondiente presión de aire, en cada uno de los ejes, justo antes del bloqueo de las ruedas, intentando obtener el mayor valor posible. Si no se alcanza al menos un tercio de la presión máxima de diseño o como mínimo los dos bares de presión, el método de extrapolación no es preciso.
- La presión de extrapolación será la indicada en la placa de la válvula ALB, que es diferente según el tipo de vehículo.

Para calcular la eficacia de frenado, se deberá desarrollar un software que registre simultáneamente la fuerza de frenada y la presión de aire, siguiendo las premisas del punto 2.1 del presente trabajo.

Para utilizar este método habrá que disponer de manómetros con una resolución de  $\pm 10$  kPa y se utilizarán las tomas de ensayo de presión disponibles en los vehículos industriales que deberán corresponderse con los indicados en la norma ISO 3584:2001 [6]. Estos conectores deberán estar accesibles e identificados y se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

- Los puntos de medida deberán estar tan próximos a la rueda como sea posible y no deberá existir ninguna válvula estranguladora entre el punto de medida y la misma.
- Solamente se podrá medir la presión de frenada lejos de la rueda, como en el acoplamiento de aire de los semirremolques, si la válvula ALB puede puentearse o abrirse completamente. En este caso, deberá tenerse en cuenta cualquier válvula que incremente la presión existente entre el acoplamiento y la rueda.

## 9. CONCLUSIONES

Se ha propuesto un método práctico, que minimiza los costes de inversión en equipamientos e infraestructuras, fácil de implementar por los usuarios de los vehículos industriales y que, aunque sólo es de aplicación para los vehículos con frenos de aire comprimido, engloba al 85 % del parque de vehículos industriales en servicio en la Unión Europea.

El método desarrollado presenta las siguientes ventajas:

- Es completamente fiable independientemente del estado de carga del vehículo.
- Se puede utilizar para todo tipo de vehículos independientemente del número de ejes.
- Abarca a la mayor parte del parque de vehículos industriales pesados.
- Se puede utilizar en vehículos con válvula ALB.

Su aplicación, sin embargo, presenta los siguientes inconvenientes:

- Sólo se puede utilizar en vehículos con instalación puramen-

te neumática (mayores de 10.000 kg de MMA)

- Parte de la suposición de que las fuerzas de frenado se incrementan proporcionalmente con la presión de aire.
- Supone algún coste para el propietario al tener que colocar accesibles las tomas de presión.
- Es necesario invertir mínimamente en la adaptación del software de los frenómetros de las ITV.
- En algunos vehículos hay que simular carga para alcanzar los 2 bar de presión.
- Hay que establecer con precisión el valor de la presión mínima de actuación, que es distinta en cada vehículo.

Por otro lado, una futura línea de investigación, que está siendo desarrollada por los autores de este trabajo, es la determinación de un procedimiento de inspección para todos los tipos de vehículos comerciales, independientemente de su MMA y su sistema de frenado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Unión Europea. Directiva 2010/48/UE de la Comisión, de 5 de julio de 2010, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 2009/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y de sus remolques. DOUE núm. 173, de 8 de julio de 2010, páginas 47 a 72.
- [2] Unión Europea. Directiva 2009/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de mayo de 2009, relativa a la inspección técnica de los vehículos a motor y de sus remolques. DOUE núm. 141, de 6 de junio de 2009, páginas 12 a 28.
- [3] ISO 21069-1:2004. Road vehicles -- Test of braking systems on vehicles with a maximum authorized total mass of over 3.5 t using a roller brake tester -- Part 1: Pneumatic braking systems. International Organization for Standardization (ISO). Switzerland: ISO, 2004.
- [4] González-Carpena A, Gómez de León e Hijos F, Alarcón-García M. "Control de la eficacia de frenado en vehículos de masa máxima admisible (MMA) mayor de 3500 kg". DYNA. Vol.88-3 p.308-317. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/5272>
- [5] González-Carpena A, Gómez de León e Hijos F, Alarcón-García M, et al. "Checking load sensing valves at vehicle inspections stations". Mechanics and Industry. Aprobado para su publicación
- [6] Reglamento nº 13 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) - Disposiciones uniformes sobre la homologación de vehículos de las categorías M, N y O con relación al frenado.
- [7] Unión Europea. Directiva 71/320/CEE del Consejo, de 26 de julio de 1971, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los dispositivos de frenado de determinadas categorías de vehículos a motor y de sus remolques.
- [8] ISO 3584:2001. Road vehicles -- Drawbar couplings – Interchangeability.