



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Aplicación de reglamentación en vigor para la homologación parcial de frenado de un vehículo categoría M1. Proposición y comparación de alternativas para la realización del ensayo.

Use of current reglamentation in order to obtain a braking partial homologation for M1 category vehicles. Proposition and comparison of alternatives for the execution of the test.

Autor/es

Javier Martínez Gómez

Director/es

Santiago Baselga Ariño



DECLARACIÓN DE
AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Javier Martínez Gómez,

con nº de DNI 73022569F en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Aplicación de reglamentación en vigor para la homologación parcial de frenado
de un vehículo categoría M1. Proposición y comparación de alternativas para
la realización del ensayo.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada
debidamente.

Zaragoza, 21 de Junio de 2017

Fdo: JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ

Aplicación de reglamentación en vigor para la homologación parcial de frenado de un vehículo categoría M1. Proposición y comparación de alternativas para la realización del ensayo.

RESUMEN

Según el Reglamento General de Vehículos [1], antes de poder obtener el permiso de circulación de todos los tipos de vehículos recogidos en este Reglamento, es necesaria una autorización administrativa previa que se basa en la homologación del tipo de vehículos, así como sus partes y piezas, y que otorgan a los fabricantes las entidades de homologación correspondientes, siendo en el caso de España el Ministerio que cuente con atribuciones en Industria.

Por lo tanto, los vehículos han de ser homologados para cada uno de sus componentes, y mediante ensayos, determinar que son válidos para la circulación, obteniendo de esta forma la autorización administrativa necesaria. De todos los componentes que se han de homologar, el presente trabajo y documento va a centrarse concretamente en los sistemas de frenado, ya que componen una de las partes primordiales e imprescindibles de todo vehículo desde el punto de vista de la seguridad. Del conjunto de ensayos que se llevan a cabo para validar la homologación de los vehículos, el enfoque está dirigido hacia el ensayo de tipo 0, orientado a vehículos de tipo M1, que viene recogido y descrito en su totalidad en los Reglamentos 13 y 13H [2]. El objetivo de este trabajo será la proposición, descripción y valoración de diferentes alternativas de equipos que pudieran ser utilizados para realizar este ensayo, así como el análisis de los resultados y datos obtenidos para cada uno de los métodos, determinando así su posible viabilidad.

El presente proyecto comienza con el estudio y análisis de los reglamentos ya nombrados, especialmente el 13H, para determinar cuáles son las directrices y las especificaciones que se han de tener en cuenta en la realización del ensayo de tipo 0. Se tomará como ejemplo el ensayo de este tipo realizado por el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, LAIMUZ (Anexo III).

Tras conocer cuáles son las especificaciones a cumplir, se propondrán y describirán las diferentes alternativas. Estas alternativas estarán clasificadas según todos los apartados del ensayo que se han de determinar o comprobar, tales como la velocidad, la distancia, el estado de la pista, la fuerza sobre el freno etc. Se valorarán las distintas alternativas en lo que se refiere a precisión, precio, adecuación etc. y se compararán entre ellas para valorar si es factible su utilización. Posteriormente se propondrán una serie de métodos como combinación de distintas alternativas.

TABLA DE CONTENIDOS

MEMORIA.....	5
1. Introducción.....	5
2. Descripción del ensayo tipo 0.	7
2.1 Introducción	7
2.2 Equipamiento empleado.....	7
2.2.1 Estación Meteorológica con anemómetro	7
2.2.2 Inclinómetro	8
2.2.3 Manómetro.....	9
2.2.4 Pisómetro.....	9
2.2.5 Termopar	10
2.2.6 Sistema Inercial de Alto Rendimiento	11
2.2.7 Antena GPS auxiliar.....	12
2.2.8 Amplificador universal	12
2.2.9 Cinta métrica.....	13
2.2.10 Cargas	13
2.2.11 Ordenador portátil	14
2.3 Ventajas.....	14
2.4 Desventajas.....	14
2.5 Conclusiones	15
3. Alternativas propuestas.....	16
3.1 Elección de la pista.....	16
3.1.1 Localización	16
3.1.2 Dimensiones	17
3.1.3 Horizontalidad	19
3.1.3.1 Niveles de burbuja.....	19
3.1.3.2 Niveles de burbuja graduados	19
3.1.3.3 Inclinómetros digitales	20
3.1.3.4 Inclinómetros capacitivos	21
3.1.4 Condiciones Climatológicas	21
3.2 Temperatura y presión.....	22

3.2.1	Pirómetro	23
3.2.2	Termómetro de superficie	23
3.2.3	Tiras termosensibles	24
3.3	Fuerza De Pisada	25
3.4.1	Medidor de fuerza en pedal con pantalla analógica	26
3.4	Distancia de frenado	27
3.4.1	Odómetro Digital	27
3.4.2	Cinta métrica	28
3.5	Velocidad	30
3.5.1	Determinación indirecta	31
3.5.1.1	Cronómetro Manual	31
3.5.1.2	Cronómetro digital con balizas.	31
3.5.1.3	Incertidumbre en la medida	33
3.5.2	Determinación directa	34
3.5.2.1	GPS	34
3.5.2.2	Pistola Radar	35
3.5.2.3	Velocímetro del vehículo	36
3.5.3	Conclusiones	37
3.6	Deceleración	37
3.6.1	Determinación indirecta	38
3.6.2	Determinación directa	38
3.6.2.1	Acelerómetro triaxial	38
3.6.2.2	Acelerómetro digital portátil PCE-VD 3	39
3.6.2.3	Decelerómetro BrakeCheck	40
4.	Valoración de los métodos	41
4.1	Método LAIMUZ	41
4.2	Método indirecto	41
4.3	Método semidirecto	42
4.4	Método directo	43
4.5	Valoración	43
5.	Conclusiones	44
6.	Posibilidades futuras	46
7.	Bibliografía	47

ANEXOS	48
ANEXO I: DEFINICIONES	48
1. Sistema de frenado	48
1.1 Componentes del sistema de frenado.....	49
1.2 Dispositivos de frenado en los vehículos	49
1.3 Tipos de sistemas de frenado	50
1.4 Asistentes para el frenado	51
2. Categorías de vehículos	52
2.1 Categoría M	52
2.2 Categoría N.....	52
2.3 Categoría O	53
3. Tipos de ensayo	53
4. Cargas del vehículo.....	54
4.1 Masa máxima.....	54
4.2 Distribución de la masa entre los ejes.....	54
4.3 Carga por rueda o por eje	54
5. Otras definiciones relativas al ensayo	54
5.1 Valor nominal	54
5.2 Señal de frenado.....	55
ANEXO II: NORMATIVA DEL ENSAYO: Ejecución, condiciones, realización y defectos	55
1. Ejecución del ensayo.....	55
2. Condiciones de ensayo	56
2.1 Carretera o pista	57
2.2 Condiciones meteorológicas	57
2.3 Condiciones del vehículo	57
3. Realización del ensayo.....	58
4. Interpretación de defectos	60
ANEXO III: DOCUMENTACION ENSAYO LAIMUZ.....	61

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de todos los ensayos de homologación que han de realizar y superar los fabricantes antes de obtener el permiso de circulación, se encuentra el correspondiente al sistema de frenado. Los reglamentos 13 y 13H correspondientes a la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, CEPE, recogen las especificaciones respecto a la homologación de los vehículos de las categorías M, N y O, en lo relativo al frenado.

Este sistema se define como la combinación de piezas y elementos que tiene como función disminuir gradualmente la velocidad del coche, detenerlo por completo o mantenerlo inmóvil si el vehículo ya se encuentra parado. Los componentes principales del sistema de frenado son: el mando, el sistema de transmisión y el freno. Se ahondará en estos elementos en los anexos localizados después de la memoria.

El ensayo en el que se centra este proyecto es el ensayo de tipo 0 para vehículos M1, consistente en cuantificar la distancia de frenado de un vehículo bajo unas especificaciones recogidas en el reglamento, así como la deceleración experimentada durante el proceso. Este ensayo, y las homologaciones de vehículos en general, son llevadas a cabo por organismos de homologación elegidos por los fabricantes, pero que no suelen estar situados en España dada su alta exigencia en las homologaciones y la falta de instalaciones de este tipo. Sin embargo, cuando se realizan modificaciones sustanciales del vehículo, ya sea por particulares o por empresas, es necesario realizar los ensayos correspondientes en los aspectos que se hayan visto afectados por la reforma. Por tanto, el objetivo de este proyecto será el planteamiento de alternativas a la realización de este ensayo, tanto para reducir su coste, como para facilitar su realización.

Dentro de las alternativas consideradas, se engloban las correspondientes a todas las partes del ensayo para las que los reglamentos exigen determinados valores o características. Entre estas alternativas se incluyen, entre otras, las relativas a la medición de la velocidad que es necesario que mantenga el vehículo antes de proceder al frenado, la medición de la fuerza que se requiere para llevar a cabo el frenado dentro de las especificaciones, la distancia recorrida por el vehículo antes de detenerse por completo o la caracterización de la pista en la que se van a realizar las pruebas.

Como en todo reglamento, antes de dar comienzo a la exposición de las especificaciones y requerimientos del ensayo tratado, se enumeran una serie de

definiciones que han de comprenderse previamente. Estas definiciones se recogen en el Anexo I.

La memoria comienza con una descripción del ensayo tipo 0, en el apartado 2, si bien se profundiza solo en el aspecto del equipo utilizado. Posteriormente en el Anexo II se tratan todas las especificaciones y requerimientos que el reglamento 13 H establece para dicho ensayo. Adicionalmente, en dicho apartado 2, se exponen una serie de ventajas y desventajas asociadas al método que se considera como modelo, así como unas conclusiones relativas al mismo.

El grueso del trabajo se encuentra recogido en el apartado 3, en el cual se exponen todas las alternativas tenidas en cuenta como posibles equipos alternativos a los tomados como modelos. Estas alternativas se disponen divididas por categorías, en función de los datos o medidas que haya que realizar en cada una. Por orden de aparición son: elección de la pista, medida de la temperatura, fuerza de pisado, distancia de frenado, determinación de la velocidad y determinación de la deceleración.

Posteriormente, en el apartado 4 se exponen los distintos métodos que se plantean, valorándolos según su precio, precisión, adecuación y facilidad de uso.

Finalmente en el apartado 5 se exponen las conclusiones a las que se ha llegado con este proyecto y en el 6 se plantean posibilidades futuras relacionadas con el mismo.

En el apartado 7 se recogerá la bibliografía y las referencias consultadas.

En la sección de Anexos, además de los anexos I y II comentados anteriormente, el anexo III recoge la hoja de toma de datos creada por el LAIMUZ para la realización del ensayo.

2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO TIPO 0.

2.1 INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo del trabajo va a ser el planteamiento de alternativas para la realización del ensayo de tipo 0 en vehículos de categoría M1 o N1, por tanto antes de proceder a ese punto del trabajo, es necesario realizar una descripción del procedimiento de realización del ensayo, de las especificaciones y requerimientos, así como del equipo empleado.

Esta descripción va a estar basada en el método que se utilizaba en el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza. Lo utilizaremos como modelo ya que cuentan con el equipamiento más avanzado y una amplia experiencia en la realización de este tipo de ensayos. En este apartado se expone el equipamiento empleado en el ensayo modelo, foco de atención del proyecto, si bien en el anexo II se recogen todos los requerimientos y el proceso de puesta en práctica del mismo.

Utilizando el equipamiento descrito a continuación, colocado correspondientemente en el vehículo a ensayar, se obtienen los datos necesarios tanto de distancia de frenado como de deceleración media, con gran precisión y detalle debido a la calidad del equipo empleado.

2.2 EQUIPAMIENTO EMPLEADO

Para la realización del ensayo tipo 0, el equipamiento que se va a utilizar va a ser el siguiente:

2.2.1 ESTACIÓN METEOROLÓGICA CON ANEMÓMETRO

Se planteó la utilización de una estación portátil para la medida del viento y la presión atmosférica, pero como se permite la utilización de datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología, se utilizan estos últimos debido a la facilidad de obtención. Por tanto el gasto dentro de esta categoría rondaría los 30 euros con la estación portátil pero puede verse reducido fácilmente a 0.



Imagen 1: Estación Meteorológica; Página de AEMET.

2.2.2 INCLINÓMETRO

Como indica el reglamento, para que una pista o carretera sea apta para la realización del ensayo, dentro de otras características, ha de tener una inclinación que no supere los 0.5° en ninguno de los 5 puntos de la pista sobre los que se ha de realizar la medida. Para ello se utiliza un inclinómetro digital, marca Mitutoyo, que nos permita obtener esta medida. Este inclinómetro, en función del vendedor, suele tener un precio de aproximadamente 500 euros la unidad.



Imagen 2: Inclinómetro Digital Mitutoyo.

2.2.3 MANÓMETRO

La utilización del manómetro viene ligada al requerimiento por parte de la normativa de que en el momento de realizar el ensayo, la presión de los neumáticos deba ser la prescrita por el fabricante para la carga que se le aplica en cada caso. Se utiliza el manómetro que puede observarse en la imagen. Su precio habitual suele estar en torno a los 50 euros.



Imagen 3: Manómetro tubular analógico.

2.2.4 PISÓMETRO

El pisómetro se utiliza para medir la fuerza que el conductor del vehículo aplica sobre el pedal de freno, que según la normativa, ha de estar entre un rango de valores comprendidos entre 6.5 y 50 daN.

En este ensayo, el pisómetro o sensor de fuerza que se utiliza es el modelo C9C de la marca HBM . Se trata básicamente de un dinamómetro diseñado para ser accionado con el pie.

Este sensor tiene un precio aproximado de 450 euros. A esto habría que añadir el adaptador para el pedal diseñado por Pablo Ruiz Lafoz [3] si no se encontrase otra manera de fijar el sensor al pedal.



Imagen 4: Pisómetro HBM y soporte para colocación en pedal diseñado por Pablo Ruiz Lafoz.

Fabricado en materiales inoxidable, se coloca en el pedal del freno mediante un soporte especial. Se conecta también al amplificador universal para registrar su señal. El adaptador cuenta con una camisa inferior para recoger el pisómetro colocado hacia arriba con una abertura para la salida del cable que conecta con el amplificador de señal. La parte superior es una pieza maciza que permite la transmisión de las fuerzas del pie al sensor. Ambas partes cuentan con ranuras para el paso de cintas que permitan el agarre al pedal del freno.

2.2.5 TERMOPAR

Se utiliza el termopar para medir la temperatura de los elementos de fricción del sistema de frenado del vehículo, previamente a la realización del ensayo. Estos deberán encontrarse en un rango de temperaturas entre los 65 y 100°C. El equipo utilizado es la sonda magnética PT-100 de la empresa Conatec. Se conecta al receptor de señales y en contacto con el disco de freno mediante la placa imantada antes de realizar el ensayo. Cada unidad está valorada en 220 euros.



Imagen 5: Sonda magnética para medición de temperatura PT100 de Conatec.

2.2.6 SISTEMA INERCIAL DE ALTO RENDIMIENTO

El sistema inercial utilizado será el modelo Ellipse AHRS & INS, fabricado por la empresa SBG Systems, con un coste aproximado de 3000 euros la unidad. Es utilizado para medir todo tipo de señales, tales como la distancia, la velocidad y la deceleración. Se conecta a la fuente de alimentación del encendedor del coche y al transformador de señal, explicado más adelante.



Imagen 6: Sistema Inercial SBG.

El Ellipse cuenta con 2 módulos, el IMU, o Unidad de Medición Inercial y el Data Fusion. El primero se encarga de tomar los datos de todas las variables, valiéndose de giroscopios, acelerómetros y magnetómetros, todos ellos en 3 ejes. Una vez obtenidas las medidas, pasan al Data Fusion, donde se combinan con las señales recibidas por los sensores auxiliares como la antena de gps y se prepara la señal para ser transmitida al transformador de señal. A continuación se muestra el esquema básico del Ellipse.

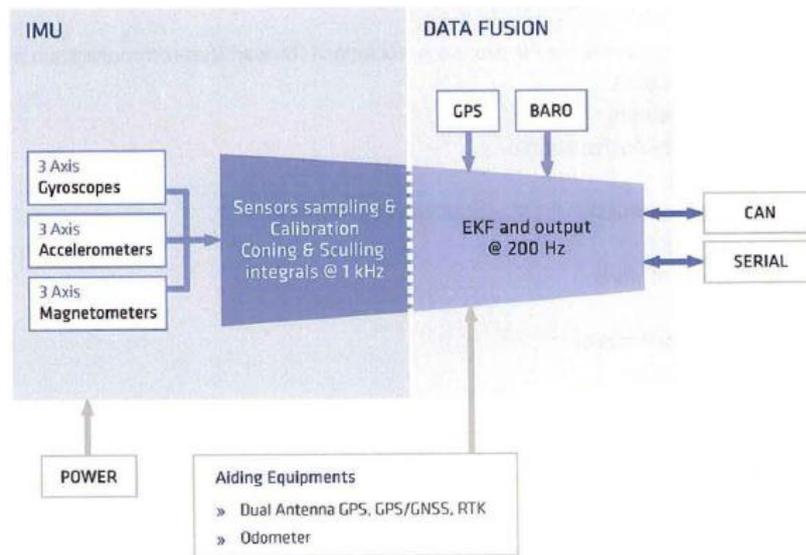


Imagen 7: Esquema básico de los módulos del Sistema Inercial.

2.2.7 ANTENA GPS AUXILIAR

Se coloca en el techo del coche para amplificar la señal de GPS que recibe el Sistema Inercial y que sea más precisa. Se incluye en el kit del Sistema Inercial y se conecta al mismo.



Imagen 8: Antena GPS Auxiliar.

2.2.8 AMPLIFICADOR UNIVERSAL

El objetivo de este aparato es recibir las señales de los demás sensores utilizados en el ensayo, tales como el sistema inercial, el pisómetro y la sonda magnética. Señales que son emitidas en forma analógica y que el amplificador universal transforma a señales digitales capaces de ser recibidas, analizadas, procesadas e importadas por el programa

informático instalado en el ordenador portátil. Se trata del modelo Quantum X de HBM. Es un equipo avanzado y por tanto caro, con un precio por unidad de 6000 euros. Cuenta con 8 puertos de entrada para conectar múltiples sensores. Mediante el programa utilizado se consigue una comparación de todas las señales recibidas en función del tiempo transcurrido, lo que permite un análisis más sencillo de las mismas.



Imagen 9: Amplificador Universal.

2.2.9 CINTA MÉTRICA

Utilizado para medir la distancia de frenado.

Su precio oscila entre los 20 y 30 euros.

2.2.10 CARGAS

En el caso de que se estime conveniente realizar ensayos con el vehículo cargado, se dispone de sacos de arena de 68 kg para colocar en los asientos de los pasajeros, con asas cosidas a los mismos para pasar por ellas el cinturón, y otro para rellenar con la arena necesaria para cumplir con el peso a colocar en el maletero. Pese a no ser obligatorio, en el método modelo se realizan ensayos tanto con el vehículo cargado como descargado.

2.2.11 ORDENADOR PORTÁTIL

Necesario para utilizar el programa del amplificador universal de señal que permite recoger, graficar y procesar todos los datos obtenidos por los sensores conectados al amplificador.

2.3 VENTAJAS

La utilización de un equipo tan avanzado implica unas ventajas inherentes al mismo que facilitan determinados apartados de la realización del ensayo, pero dificultan otros. El hecho más destacable es la ausencia de puntos de referencia desde los que comenzar a medir la distancia de frenado. Esto es posible debido al sistema inercial, que mediante el amplificador de señal proporciona gráficas de velocidad, distancia y deceleración en cualquier momento del ensayo. Se evita con esto el error cometido debido al tiempo de reacción del conductor si debe comenzar a frenar en un punto de la pista determinado.

Debido a que el programa que maneja y recoge la señal transformada por el amplificador universal permite la importación de todos los datos obtenidos en el ensayo, se hace posible el análisis y tratamiento de los mismos en programas externos como Microsoft Excel, aparte del hecho de que todos los datos del ensayo quedan perfectamente registrados y recogidos por el programa.

Todo ello posibilita la obtención de las mediciones de la distancia de frenado y de la deceleración media con mayor rapidez, así como una comparación objetiva de las mismas.

2.4 DESVENTAJAS

Por el mismo motivo que el equipo utilizado permite obtener una precisión muy alta, es necesaria una calibración previa de todos los sensores así como una familiarización con el equipo, especialmente con el programa encargado de manejar el amplificador de señal. Además, la preparación para realizar el ensayo conlleva una serie de operaciones que alargan el tiempo total del proceso, tales como colocar todos los sensores, iniciar el equipo etc. Requiere un tratamiento de los datos, a realizar posteriormente al ensayo, por lo que no se obtiene una valoración positiva o negativa del ensayo inmediatamente.

Otro factor a tener en cuenta es la posible utilización de los elementos por separado. Incluso si se quisiese utilizar uno de los sensores más baratos, como puede ser el

termopar, sería necesario adquirir también el amplificador de señal, con el coste que ello conlleva.

Sin embargo la principal desventaja es el precio. Al tratarse de un equipo tan avanzado y preciso, el precio total que alcanzan todos sus componentes es muy elevado, siendo difícil de adquirir para personas ajenas a entidades o empresas.

Sin incluir el alquiler de la pista de pruebas si fuese necesario, que se considerará común a todos los métodos que se planteen a continuación, el desglose general del presupuesto estimado para adquirir todo el equipo, con el objetivo de realizar el ensayo que nos atañe mediante el método planteado anteriormente, es el siguiente:

EQUIPO	PRECIO (€)
Inclinómetro	500
Manómetro	50
Pisómetro	450
Termopar	220
Sistema Inercial	5000
Amplificador Universal	6000
Cinta Métrica	30
Ordenador Portátil	400
PRESUPUESTO TOTAL	12650

Tabla 1: Presupuesto método LAIMUZ

2.5 CONCLUSIONES

Como se puede observar, el presupuesto total estimado para la adquisición de estos equipos es considerable, de ahí que con este proyecto se busque una alternativa que permita un equilibrio entre un bajo coste con una precisión adecuada. Los equipos utilizados, correctamente calibrados, proporcionan una indudable precisión, pero para una persona no perteneciente a una Entidad especializada, o a una Universidad, puede resultarle complicada la adquisición de los mismos, además de la dificultad en la curva de aprendizaje para la utilización de estos equipos.

3. ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Una vez descrito el proceso que se ha tomado como modelo, se procede a desarrollar el objetivo del proyecto, el planteamiento y análisis de las alternativas posibles para la realización de este ensayo. Para ello se ha dividido el ensayo en categorías, correspondientes a los distintos apartados del mismo susceptibles de realizar u obtener medidas sobre ellos. Para poder realizar una comparación objetiva en cada una de las categorías, se nombrará previamente los requisitos del reglamento, así como el equipo utilizado en el método modelo. Posteriormente, se enumerarán las alternativas y se comprobará si la precisión y la incertidumbre de la misma son válidas según los requisitos. Finalmente se realizará una valoración de la adecuación de las distintas alternativas al ensayo que nos atañe, en lo referido a facilidad de uso y número de equipos.

3.1 ELECCIÓN DE LA PISTA.

Lo primero que han de plantearse, tanto el técnico como el cliente, en el proceso de realización del ensayo de frenada, es elegir el lugar en el que se va a realizar el mismo. La pista elegida deberá ser de mutuo acuerdo entre ambos.

3.1.1 LOCALIZACIÓN

A la hora de elegir el lugar donde realizar la prueba, el reglamento estipula que debe de tratarse de un lugar controlado, por lo que se toma la pista de ensayo como una parte más del equipo. Es por esto que no se puede realizar el ensayo en cualquier carretera abierta al público, ya que no es posible controlar la aparición de peatones u otros vehículos ajenos al ensayo, además de no cumplir con los límites de velocidad.

Las alternativas de las que se puede hacer uso pasan por el alquiler de pistas a entidades como autoescuelas o circuitos, o bien distintos organismos que dispongan del suficiente espacio disponible o que hayan construido su propia pista de pruebas. Mientras que el alquiler de circuitos alcanza un precio muy elevado, las pistas de autoescuelas ofrecen precios mucho más reducidos, si bien han de contar con las dimensiones necesarias.

En el caso de tratarse de una entidad que prevea la realización de multitud de ensayos, puede plantearse la opción de la construcción de una pista privada con las características necesarias, si el precio de la misma pudiese ser amortizado.

Aun con todo, es conocido que se realizan homologaciones de frenada en localizaciones que no pasarían por la aprobación de las entidades, como por ejemplo carreteras públicas en polígonos, en las que no se respetan los límites de velocidad, o incluso caminos sin asfaltar, en los que no se cumplen ninguno de los requisitos establecidos por la norma en lo referente a la pista de pruebas.

3.1.2 DIMENSIONES

Para la realización del ensayo es indispensable contar con una carretera de al menos 200 metros de longitud y 3.5 metros de ancho. Para realizar esta medida puede utilizarse un odómetro, para determinar la longitud de la pista, o una cinta métrica para la anchura. La determinación de la longitud de la pista no es un parámetro que requiera de ninguna precisión, al contrario que para la determinación de la distancia de frenado.

Debido a la precisión que ofrece Google Maps, también podemos determinar la distancia de la carretera utilizando esta aplicación, siempre y cuando aparezca en los mapas. Como se puede observar en la Imagen 12, la precisión alcanzada llega incluso hasta el metro, más que suficiente para la determinación de las dimensiones de la pista.

Al igual que la climatología, mientras se cumplan los límites, las dimensiones de la carretera no son un parámetro influyente en el resultado del ensayo, por lo que, debido a su menor coste, la alternativa de medir la distancia de la pista con Google Maps y con una cinta métrica para determinar la anchura es más conveniente. No será necesario pues invertir en un odómetro, pese a que su precio es reducido.

A la hora de elegir la cinta métrica, sí que sería conveniente elegir una que permitiese una buena precisión con baja incertidumbre, ya que para la determinación de la distancia de frenado y la distancia a introducir en la fórmula de la deceleración, sí que será necesario un error menor del 1 por ciento. En apartados posteriores, especialmente en el de determinación de la velocidad, se ahondará en la elección de cintas métricas que cumplan con los requerimientos de precisión.

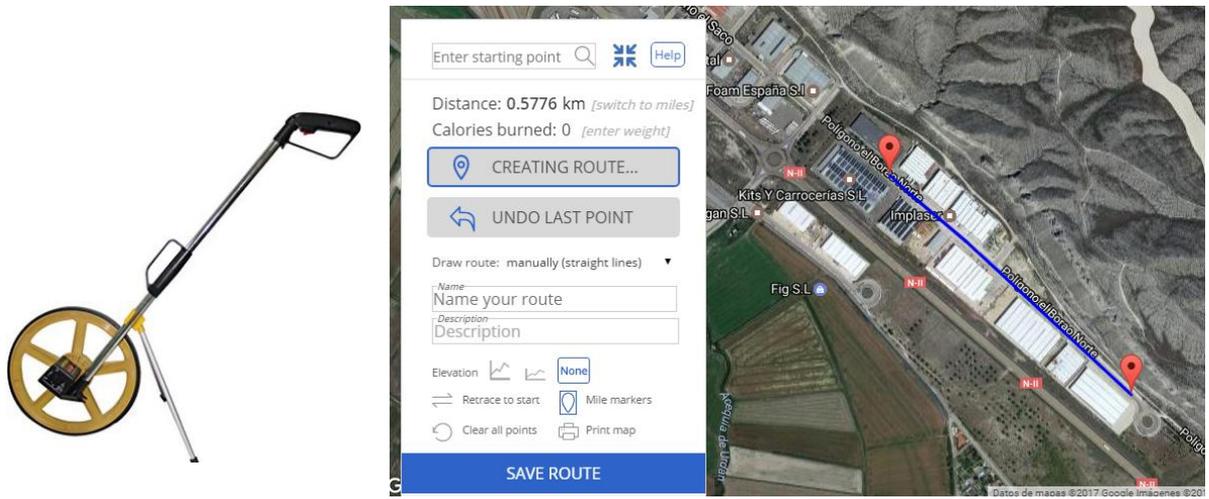


Imagen 10: Ejemplo de odómetro digital; Medición de distancias en Google Maps.

Como comentario sobre las dimensiones de la pista a utilizar, cabe destacar que si bien la longitud mínima de la misma ha de ser 200 metros, con unos sencillos cálculos sale a relucir que esta distancia queda muy por debajo de la distancia requerida para alcanzar la velocidad del ensayo y realizar la frenada en condiciones de seguridad.

Estimando un tiempo de aceleración medio para turismos de 10 segundos de 0 a 100km/h (que requiere el ensayo con el motor desembragado), y el valor límite de deceleración en frenado para validar la homologación en 6.43 m/s^2 , se observa que:

$$a_{(0-100)} \text{ m/s}^2 = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{27.7 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 2.77 \text{ m/s}^2$$

$$D_{\text{aceleración}} = X_0 + V_0 * T + \frac{1}{2} * a_{(0-100)} * T_{(0-100)}^2 = 0.5 * 2.77 * 10^2 = 138 \text{ m}$$

$$a_{(100-0)} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{6.43 \text{ m}}{\text{s}^2} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{27.7 \text{ m/s}}{T_{\text{frenada}}} \leftrightarrow T_{\text{frenada}} = 4.3 \text{ s}$$

$$D_{\text{frenado}} = X_0 + V_0 * T + \frac{1}{2} * a_{(100-0)} * T_{(\text{frenado})}^2 = 0.5 * 6.43 * 4.3^2 = 59.44 \text{ m}$$

$$D_{\text{total}} = D_{0-100} + D_{\text{frenado}} = 138 + 59.44 = 197.44 \text{ m}$$

Por tanto, con esta estimación resulta una distancia mínima de poco menos de 200 metros. Todo ello sin contar la distancia recorrida durante el tiempo que transcurre desde que se alcanza la velocidad indicada y hasta que se frena, ni con que la aceleración no va a realizarse con las máximas prestaciones del vehículo. Además, para realizar el ensayo con el motor embragado, es necesario alcanzar velocidades cercanas a los 160 km/h, por lo que el tiempo empleado en acelerar y frenar aumenta considerablemente, y con ello la distancia, siendo necesaria una longitud de pista mucho mayor que la que indica el reglamento como mínima.

3.1.3 HORIZONTALIDAD

Según indica el reglamento será necesaria la realización de medidas en 5 puntos distintos a lo largo de los 200 metros de la pista, para comprobar que la horizontalidad de la pista no difiere de los 0.5 grados. El reglamento no especifica ninguna precisión en lo referente a las medidas que ha de proporcionar el aparato, pero dado que la inclinación máxima es de 0.5 grados, resulta obvio que el equipo elegido alcance como mínimo una resolución de la décima de grado. El equipo elegido en el método modelo es el inclinómetro Mitutoyo, que alcanza la décima de grado de precisión y tiene un precio aproximado de 400 euros.

3.1.3.1 Niveles de burbuja: los niveles de burbuja son el equipo más barato y sencillo de utilizar en esta categoría, pero al no tener graduación, no es posible obtener una medida precisa de la inclinación de la pista, por lo que no serían de utilidad en el ensayo que nos atañe.

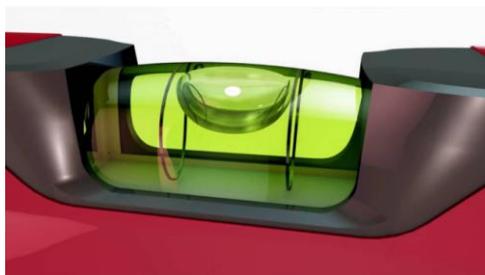


Imagen 11: Ejemplo de nivel de burbuja simple, sin graduación.

3.1.3.2 Niveles de burbuja graduados: otra alternativa más precisa son los niveles de burbuja graduados, que proporcionan una medida en mm/m, que identifica

la variación de altura en un metro de pista. Alcanzan una precisión de 0,5 mm/m, lo que corresponde aproximadamente 0.03 grados, suficiente para los requerimientos. El inconveniente se da en que se necesita la medida en grados, por lo que es necesario realizar una mínima operación de trigonometría, pero algunos modelos incluyen graduación en mm/m y en grados (pero la precisión de esta última graduación no alcanza la requerida). La ventaja de estos niveles es su longitud, que permite obtener la nivelación de un tramo de longitud superior. Su precio ronda los 60 euros.



Imagen 12: Ejemplo de nivel graduado en mm/m y $^{\circ}$, modelo de la marca Kapro.

3.1.3.3 Inclinómetros digitales: esta alternativa es la misma que se utiliza en el ensayo modelo, pero existen inclinómetros a precios más reducidos que alcanzan la precisión deseada. El problema con estos inclinómetros es su reducido tamaño, que hace que la lectura pueda ser engañosa, más aún en un terreno relativamente rugoso como puede ser una pista de asfalto. La solución más sencilla sería acoplar el aparato a un listón de madera o metal del que previamente se ha comprobado su horizontalidad, para poder abarcar más terreno con cada medida. El modelo encontrado tiene una resolución que alcanza la décima de grado, y una precisión de ± 0.2 grados, suficiente para la aplicación a tratar. Tiene un precio de 30 euros.



Imagen 13: Inclinómetro AccuRemote digital.

3.1.3.4 Inclinómetros capacitivos: la última alternativa la componen los inclinómetros capacitivos, capaces de proporcionar una alta precisión, hasta la milésima de grado. La señal es analógica, proporcional a la inclinación, por lo que es necesario un equipo de tratamiento de la misma, que aumenta el precio, ya de por sí alto. Por su elevado precio y su precisión excesiva no es apropiado para esta aplicación.



Imagen 14: Inclinómetro capacitivo Seika.

Por tanto, a raíz del precio y la precisión de los equipos obtenidos, se concluye que la mejor alternativa para medir la horizontalidad en el ensayo a tratar es el inclinómetro digital, suponiendo un gran ahorro respecto al equipo original.

3.1.4 CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

Según el reglamento, la velocidad del viento deberá ser inferior a 15 km/h, por lo que será necesario medirlo, in situ o consultando internet. Ya que en el ensayo se desprecian las variables aerodinámicas, el viento, siempre y cuando no supere los 15 km/h, no influirá excesivamente en el resultado del mismo.

Para comprobar esta medición, se podrá determinar in situ la velocidad mediante una estación meteorológica portátil. Estas estaciones se pueden encontrar con un gran rango de precios, desde los 20 euros hasta los 200, incluyendo progresivamente más funciones. Como en el caso tratado lo único a medir es la velocidad del viento, las de gama más baja cumplirían con la función. Además, no es requerida gran precisión.

Pero debido a los avances de las previsiones y a la accesibilidad de internet, este dato puede ser consultado en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología o AEMET, que proporcionará unas medidas suficientemente precisas para el ensayo y bastará con elegir un día para la realización del ensayo en el que el viento no supere lo estipulado por el reglamento.

Como es un parámetro fácilmente comprobable por internet y poco influyente dentro de los límites, no es necesario realizar un gasto económico en la estación meteorológica portátil para obtener los resultados.



jue 15	vie 16				sáb 17		dom 18		lun 19	mar 20	mié 21
18-24 h	00-06 h	06-12 h	12-18 h	18-24 h	00-12 h	12-24 h	00-12 h	12-24 h			
20°C	19°C	33°C	36°C	22°C							
Probabilidad de precipitación											
5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	70%	40%
Cota de nieve a nivel de provincia (m)											
Temperatura mínima y máxima (°C)											
20 / 39		19 / 38			20 / 39		22 / 38	22 / 36	21 / 35	23 / 37	
Sensación térmica mínima y máxima (°C)											
20 / 39		19 / 38			20 / 39		22 / 38	22 / 36	21 / 35	23 / 37	
Humedad relativa mínima y máxima (%)											
30 / 75		25 / 75			10 / 60		15 / 50	30 / 75	30 / 70	20 / 55	
Dirección y velocidad del viento (km/h)											
Tacha máxima (km/h)											
								55	50		

Imagen 15: Ejemplo de estación meteorológica portátil (modelo STK0151007270); Predicción meteorológica de AEMET para la ciudad de Zaragoza, con la previsión del viento destacada.

3.2 TEMPERATURA Y PRESIÓN

Según la normativa, es necesario conocer y determinar la temperatura de los frenos antes de la realización del ensayo y de cualquier tipo de frenada, para ello se podrán utilizar diversos métodos. El reglamento no especifica ninguna precisión, por lo que una resolución de un grado será suficiente. El equipo utilizado en el método modelo es una sonda magnética, que ha de conectarse a un receptor de señal.

3.2.1 PIRÓMETRO

Se trata de un tipo de termómetro que permite medir la temperatura de las superficies sin estar en contacto con ellas. Su principio de funcionamiento puede basarse en infrarrojos o láser. A mayor rango de temperaturas capaz de medir, mayor precio. El modelo propuesto tiene un rango comprendido entre -50°C y 400°C , adecuado para la aplicación, y alcanza una resolución de décima de grado. Tiene un precio aproximado de 20 euros.



Imagen 16: Pirómetro Infrarrojo de EC Technology.

3.2.2 TERMÓMETRO DE SUPERFICIE

Termómetro que se pone en contacto con la superficie a medir y devuelve una lectura digital de la temperatura. Funciona con el mismo principio que el termopar del método modelo, pero al contar con pantalla LCD no es necesario un tratamiento de la señal mediante equipo externo. El modelo propuesto permite un rango de medida desde los -50°C hasta los 300°C , con una resolución de décima de grado y una precisión del $\pm 1.5\%$, si bien el reglamento no especifica ninguna. Tiene un precio aproximado de 20 euros.



Imagen 17: Termómetro de Superficie GrandBeing.

3.2.3 TIRAS TERMOSENSIBLES:

Se trata de materiales sensibles al calor que alcanzan una u otra tonalidad en función de la temperatura de la superficie con la que esté en contacto. A pesar de que su precio es reducido, cuentan con la desventaja de no ser reutilizables y de ser necesario un tiempo para que aparezcan las medidas, además encontrar la cinta que cubra el rango indicado puede ser complicado. A un precio aproximado de 10 euros la decena de unidades, el técnico deberá adquirir más si realiza múltiples ensayos, superando así el precio de las demás alternativas.



Imagen 18: Tira adhesiva termosensible Thermax. Rango de medición 70-100°C

En esta categoría, las opciones del pirómetro láser y del termómetro de superficies son similares en lo relativo a precio y precisión, pero debido a su facilidad de uso y a su rapidez, se elige el pirómetro digital para la medición de la temperatura de los frenos.

3.2.4 Manómetro

Para determinar que la presión de los neumáticos a la hora de realizar el ensayo es la recomendada por el fabricante, se utilizará un manómetro. Dado que el reglamento no indica precisión alguna, se propone utilizar un manómetro analógico de pistola, distribuido por Norauto, que cuenta con la homologación necesaria y permite mediciones hasta los 10 bares de presión. Tiene un precio de 25 euros.



Imagen 19: manómetro analógico Norauto

3.3 FUERZA DE PISADA

Según los requerimientos del ensayo, la fuerza aplicada al pedal de freno debe comprenderse en un intervalo entre los 6.5 y 50 daN de fuerza. Como se ha explicado anteriormente, en el método modelo se utiliza un sensor dinamométrico acoplado al pedal del freno mediante un soporte especialmente diseñado.

No existen muchas alternativas para medir la fuerza de pisada aparte de los pisómetros con salida analógica, que además de su elevado precio, cuentan con la desventaja de necesitar un equipo de recepción y transformación de señal, como el amplificador universal utilizado en el método modelo.

3.4.1 MEDIDOR DE FUERZA EN PEDAL CON PANTALLA ANALÓGICA

Se trata de un sensor dinamométrico diseñado específicamente para su uso en pedales de freno tanto de coche como de camión. Va conectado a una pantalla digital que permite la visualización de la medida instantánea así como el almacenamiento de la fuerza máxima aplicada. Se fija al pedal mediante una barra de apriete. Permite la medición de fuerzas comprendidas en el intervalo de 0-1500 N, que cumple el rango requerido, y con una precisión del 0.5 por ciento, suficiente para la aplicación ya que no se especifica precisión alguna en el reglamento. La fuerza máxima registrada puede consultarse a la finalización del ensayo. Se trata de un modelo de la empresa española PCE Iberica Instruments S.L. y tiene un coste por unidad de 650 euros aproximadamente.



Imagen 20: Sensor de fuerza en pedal con pantalla LCD, de PCE instruments.

Llegado este punto, teniendo solo otra opción además de la del método modelo, se elige el sensor de fuerza con pantalla analógica, debido a que se diseñó específicamente para esta aplicación, además de llevar incorporado el lector para tomar las medidas. Con el sensor utilizado en el método modelo, fue necesaria la creación de un soporte para acoplarlo al pedal de freno, mientras que con la alternativa propuesta, el agarre al pedal es mucho más fácil y rápido. Supone un gasto considerable en comparación con el equipo expuesto hasta el momento, pero ante la ausencia de más alternativas, se considera la opción adecuada. No supone una rebaja en el precio del equipo utilizado en el método modelo, pero su facilidad de uso y su diseño justifican el gasto.

3.4 DISTANCIA DE FRENADO

Como se ha comentado con anterioridad, en el método modelo se utilizaba una cinta métrica para la medición de la distancia, pero al contar con el sistema inercial, su uso es realmente innecesario. Mediante la comparación de las gráficas de distancia y aceleración proporcionadas por el sistema, se puede obtener la distancia de frenado total sin necesidad de contar con un punto de inicio físico en la pista. Esta distancia corresponderá a la recorrida por el vehículo desde el momento en que el Sistema Inercial detecta una aceleración negativa, hasta el momento que la aceleración es nula.

El reglamento 13H indica que en la medida de la distancia, se permite un error máximo del 1%, igual que en la determinación de la velocidad. En función del método que se plantee para la obtención de la velocidad, directa o indirectamente, será necesario realizar mediciones de distancia aparte de la distancia de frenado. Por lo que, tanto si solo se utiliza para la medición de la distancia de frenado, o para el cálculo indirecto de la velocidad, será necesario contar con un equipo que nos proporcione la precisión requerida.

3.4.1 ODÓMETRO DIGITAL

El odómetro es un equipo de medida que cuenta con una rueda que se desplaza por el terreno a medir y una pantalla de lectura que indica la distancia recorrida, calculada en función del diámetro de la rueda. Se propone un modelo nuevamente de PCE Instruments Iberica S.L, capaz de medir distancias hasta los 1000 metros, y que cuenta con un error del 0.1% por lo que sería válido para la determinación de las distancias según las especificaciones de este ensayo. Cuenta con un precio aproximado de 100 euros y posibilidad de solicitar certificado de calibración. Además, permitiría la comprobación rápida de las dimensiones de la pista, consultadas previamente en Google Maps.



Imagen 21: Odómetro digital de PCE Instruments.

3.4.2 CINTA MÉTRICA

En función de la precisión que permitan alcanzar, existen diversas clases para clasificar las cintas métricas, conforme a la Comisión Europea [4], desde la menos precisa, clase 3, a la que permite unas mediciones con menos error, clase 1.

El error máximo permitido, positivo o negativo en mm, sobre la longitud comprendida entre dos trazos no consecutivos de la escala responde a la expresión $(a + bL)$, donde:

- L es el valor de la longitud redondeado por exceso al siguiente metro entero, y
- a y b corresponden al siguiente cuadro

Clase de precisión	a (mm)	b
I	0,1	0,1
II	0,3	0,2
III	0,6	0,4

Tabla 2: Clases de precisión cintas métricas según directiva 2004/22/CE

Contando con que las mediciones de la distancia de frenado no superarán en ningún caso los 92 metros (a partir de tal medida se consideraría inválido el ensayo), se realizarán los cálculos con esta medida de distancia (redondeada al siguiente metro entero).

Clase	a(mm)	b	L	error(mm)	%error
I	0,1	0,1	92	9,3	0,010108696
II	0,3	0,2	92	18,7	0,020326087
III	0,6	0,4	92	37,4	0,040652174

Tabla 3: errores en función de la clase de precisión

Como puede observarse, cualquiera de las clases indicadas, serían válidas para realizar las mediciones de distancia. Se buscará una cinta con la mayor longitud posible, para realizar el menor número de mediciones posible, una a continuación de la otra, con la posibilidad de aumentar el error.

El equipo elegido es una cinta métrica modelo CM113, de GIS Ibérica. Clase III de 100 m de longitud. Permite medidas exactas mediante la colocación de la punta superior en el pavimento. El precio por unidad es de 80 euros.



Imagen 22: Cinta métrica CM113 de GIS Ibérica.

A la hora de elegir una de las alternativas propuestas se observa que la precisión de ambas es suficiente para el ensayo, y que su precio es similar. Es una categoría en la que no se puede aplicar una disminución de presupuesto cuantiosa debido a la similitud de las alternativas. El odómetro cuenta con la ventaja de una mayor velocidad a la hora de realizar la medida, pero las irregularidades puntuales del terreno pueden conducir a errores. Sin embargo, gracias a la punta inferior del armazón de la cinta métrica, es posible realizar mediciones a una ligera altura por encima del suelo, lo que permite evitar dichas irregularidades. Por ello se elige la cinta métrica como alternativa en la medición de distancias.

3.5 VELOCIDAD

Junto con la deceleración y la distancia de frenado, la velocidad es uno de los parámetros más importantes de todo el ensayo. Existen multitud de maneras de medir la velocidad, unas más precisas que otras, y con gran rango de precios. Se busca encontrar un equilibrio entre precio y precisión por lo que se exponen diversas alternativas, desde las más caras y avanzadas a las más básicas y baratas.

Como equipo superior se toma el Sistema Inercial utilizado en el método modelo, que permite obtener la velocidad en cualquier instante. Sin embargo, para la determinación de la distancia de frenado y de la deceleración es suficiente con conocer la velocidad inicial antes de comenzar el ensayo, por lo que puede ser suficiente con otro tipo de equipos.

El reglamento establece como máximo un error del 1% en la determinación de la velocidad.

Se valoran 2 maneras distintas de obtener la velocidad a la que el vehículo inicia la frenada: directa e indirectamente. Para determinar la velocidad de manera directa, bastará con la lectura obtenida por los equipos elegidos, si estos cumplen con la precisión requerida. Sin embargo para la determinación indirecta de la misma, será necesario tomar medidas de tiempo y distancia, para aplicar la ecuación:

$$Velocidad = \frac{Distancia\ recorrida}{Tiempo\ empleado}$$

Se supone que la medición de la velocidad se realiza en un punto de la pista o en un momento del ensayo, en el que el vehículo haya realizado correctamente la aceleración hasta la velocidad de inicio, y se encuentre manteniendo esa velocidad.

3.5.1 DETERMINACIÓN INDIRECTA

3.5.1.1 Cronómetro Manual.

Medida del tiempo empleado en recorrer una distancia marcada en la pista de ensayo con una longitud igual a 10 m. A una velocidad de ensayo de 100 km/h, el vehículo recorre una distancia de 27.7 metros en un segundo, por lo que la rapidez necesaria por parte del técnico para realizar esta medida es inconcebible.

Se observa necesaria la utilización de un tramo cronometrado de mayor longitud, si las dimensiones de la pista lo permitiesen, pero la dificultad para observar desde la distancia el momento en el que el coche atraviesa las marcas hace que se descarte este método, que aunque muy barato, no permite obtener resultados con ningún tipo de precisión.

3.5.1.2 Cronómetro digital con balizas.

Eliminación de la componente humana del método anterior. Se han encontrado dos equipos de medición de tiempos para un tramo determinado.

Witty System

El primer equipo es el sistema Witty System, de la empresa Microgate, que cuenta con dos balizas con células fotoeléctricas que se colocan a una distancia previamente medida y una consola que recoge los datos obtenidos. Las balizas transmiten por radio a la consola hasta una distancia de 300 metros. Cuenta con una resolución de 1/25000 segundos y permite calcular la velocidad en el tramo indicado. Tiene un precio de 1600 euros con todo el equipo necesario.



Imagen 23: cronómetro de balizas Witty System.

ChronoJump

El segundo sistema se basa en el mismo principio de funcionamiento, pero necesita conexión a un ordenador portátil con un programa gratuito para registrar las señales. Se trata del sistema Chronojump, desarrollado por la empresa Boscosystems, cuenta con una precisión de 1ms. Tiene un precio de 450 euros el equipo completo. El paquete incluye todo lo necesario para medir los tiempos en el tramo determinado, así como la placa de hardware que recoge los datos para tratarlos en el ordenador con el programa de descarga gratuita que ofrece el fabricante. El primer aparato de la imagen inferior registra las señales tomadas por las balizas y las transmite al programa del ordenador.

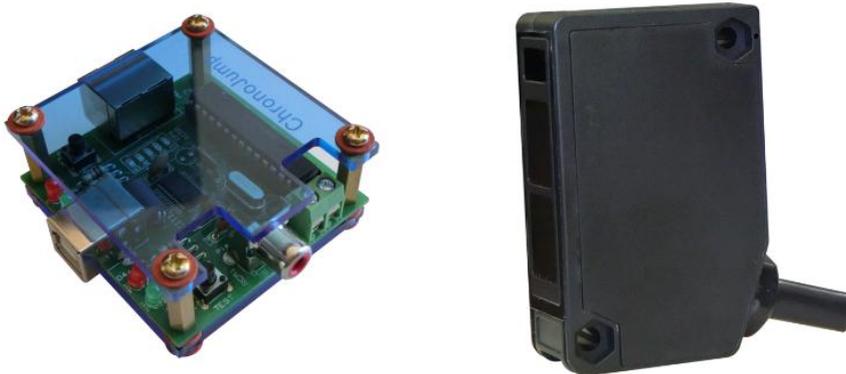


Imagen 24: Registrador de señales ChronoPic. Célula Fotoeléctrica.

3.5.1.3 Incertidumbre en la medida

Con los dos equipos comentados anteriormente, es necesario realizar varias operaciones para la determinación de la velocidad. Primero calcularemos la varianza de la medida de la distancia, posteriormente la de la medida del tiempo, y finalmente la incertidumbre en la velocidad para comprobar si cumplen con el error máximo permitido de un 1%.

Para calcular la varianza de la distancia utilizamos los datos de calibración de la cinta métrica de clase 3 adquirida conforme a las normas CE, que según la fórmula propuesta, para una distancia de 10 m, el error máximo permitido es de +/- 4.6mm , suponemos distribución de errores uniforme y aplicamos la ecuación:

$$S^2_{distancia} = \frac{\varepsilon^2}{3} = \frac{4.6^2}{3} = 7.07 \text{ mm}$$

Para la varianza del tiempo utilizamos la resolución más baja de los dos equipos anteriores, el Chronojump, y si esta cumple los requerimientos, el Witty System los cumplirá también, ya que su precisión es mucho mayor.

$$S^2_{tiempo} = \frac{\varepsilon^2}{3} = \frac{0.001^2}{3} = 3.33 * 10^{-7} \text{ s}$$

Ya tenemos los datos necesarios para poder calcular la velocidad con la ley de propagación y la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} S^2_{velocidad} &= \left(\frac{\partial V}{\partial D}\right)^2 * S_{distancia}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)^2 * S_{tiempo}^2 \\ &= \left(\frac{1}{t}\right)^2 * (7.07)^2 - \left(\frac{D}{t^2}\right)^2 * (3.33 * 10^{-7})^2 \end{aligned}$$

Si la distancia a la que se colocan las balizas es de 10 metros, y a la velocidad de ensayo, 100 km/h = 27,7 m/s, los recorrerá en un tiempo estimado de 0.36 segundos, al sustituir se obtiene:

$$S^2_{\text{velocidad}} = \left(\frac{1}{0.36}\right)^2 * (7.07 * 10^{-3})^2 - \left(\frac{10}{0.36^2}\right)^2 * (3.33 * 10^{-7})^2 = 3.85 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

Una vez determinada la varianza de la velocidad, se puede calcular la incertidumbre en la medida de la misma, suponiendo un valor del factor de incertidumbre, k, de 3 para asegurar que el 99,7% de los valores cumplirán las ecuaciones:

$$I_{\text{velocidad}} = \pm K * \sqrt{S^2_{\text{velocidad}}} = \pm 3 * \sqrt{3.85 * 10^{-4}} = \pm 0.058 \text{ m/s}$$

Sobre la velocidad del ensayo de 27,7 m/s, la incertidumbre representa un error del 0.212 %, por lo que el método empleado es lo suficientemente preciso.

Como se ha podido calcular, ambos equipos serían válidos para esta aplicación, si bien el Witty System, aunque mucho más preciso, tiene un precio muy elevado. El uso de un portátil en el caso del ChronoJump, no incrementa el precio lo suficiente como para igualar el del Witty System.

3.5.2 DETERMINACIÓN DIRECTA

A continuación se plantean los equipos que permiten una determinación directa de la velocidad.

3.5.2.1 GPS

La primera alternativa es la utilización de un GPS para obtener la velocidad en el momento de comenzar la frenada. Existe una gama amplísima de GPS, desde el uso común al más específico. Existen Gps de marcas reconocidas, como Garmin, que ofrecen precisiones de 3 metros con un precio reducido. En lo referente a la velocidad, Garmin afirma obtener un error de 0.1 m/s, si bien este dato no ha podido ser comprobado. Los GPS realizan un cálculo de la velocidad media mediante la distancia recorrida entre dos

instantes de tiempo, normalmente separados entre sí 1 segundo, por lo que puede considerarse velocidad instantánea. Por tanto, en una pista recta, con buenas condiciones de recepción, el error en la posición se puede considerar el mismo en los dos instantes por lo que la medición de la velocidad es muy precisa.

Se propone la utilización del GPS Garmin modelo GLO, que permite conectar con el teléfono móvil, cuenta con una precisión de 3 metros y permite obtener velocidades instantáneas, si bien no permite almacenarlas a no ser que sea la máxima del recorrido, como en el caso propuesto en el momento de iniciar la frenada. Tiene un precio de 100 euros por unidad.



Imagen 25: GPS Garmin Glo.

La ventaja de utilizar un GPS que determina la velocidad real, es la posibilidad de ir comunicando al conductor la velocidad que tiene que alcanzar hasta el momento de realizar la frenada, permitiendo ajustarse con mayor precisión a la misma, siempre y cuando las medidas de la pista lo permitan.

3.5.2.2 Pistola Radar

Se trata de un equipo medidor de velocidades que consiste en una medición de las ondas de radio que emite la pistola. Al rebotar en el objeto en movimiento, cambian su frecuencia y son recibidas de nuevo por la pistola. Es lo que se conoce como efecto Doppler. Se propone el siguiente modelo de pistola de radar:

Stalker Radar Sport 2

Se trata de un equipamiento de radar fabricado por la empresa especializada en medición de velocidad Stalker. Se ha planteado este equipo debido al extenso manual de usuario, que permite la obtención de errores muy precisos en función de la colocación del radar con respecto al vehículo en movimiento. Según dicho manual, una colocación en un ángulo de 0° respecto al movimiento del vehículo daría un error próximo al 0%. Si bien en la presente aplicación el técnico deberá colocarse en un lateral de la pista, el manual dispone que para un ángulo de 5° el error cometido es inferior al 1% para las velocidades ensayadas. Por tanto la precisión de este equipamiento cumple con los requerimientos. Tiene un precio de 500 euros a lo que habría que sumar los gastos de envío.



	0 Degrees	5 Degrees	10 Degrees	15 Degrees	30 Degrees	45 Degrees	90 Degrees
True Speed	0% Error	0.4% Error	1.5% Error	3.4% Error	13.4% Error	29.3% Error	100% Error
25.0 mph	25.0 mph	24.9 mph	24.6 mph	24.1 mph	21.7 mph	17.7 mph	0 mph
50.0 mph	50.0 mph	49.8 mph	49.2 mph	48.3 mph	43.3 mph	35.4 mph	0 mph
75.0 mph	75.0 mph	74.7 mph	73.9 mph	72.4 mph	65.0 mph	53.0 mph	0 mph
100.0 mph	100.0 mph	99.6 mph	98.5 mph	96.6 mph	86.6 mph	70.7 mph	0 mph
125.0 mph	125.0 mph	124.5 mph	123.1 mph	120.7 mph	108.3 mph	88.4 mph	0 mph

Imagen 26: Pistola Radar Stalker Sport 2

Tabla 4: Errores Stalker Sport 2 en función del ángulo de colocación.

La desventaja de estos sistemas es que el conductor no sabe si ha realizado el ensayo a la velocidad correcta, y ha de esperar a la confirmación por parte del técnico. Esto implica la posibilidad de tener que realizar mayor número de intentos a la hora de llevar a cabo el ensayo correctamente.

3.5.2.3 Velocímetro del vehículo

Otra de las alternativas que se ha tenido en cuenta para la medición de la velocidad del vehículo ha sido la observación del propio velocímetro del coche. De entrada, según la directiva 200/7/CE [5], la comisión europea dictamina que la velocidad indicada nunca deberá ser mayor que la velocidad real, y que el error máximo tolerado será, como

máximo, un 10 por ciento de la velocidad real mas 4 km/h. Por tanto, sin ningún ajuste no podríamos utilizar el velocímetro para determinar la velocidad., ya que el error cometido es superior al 1% indicado por la normativa.

Si se midiese la diferencia entre la medida de un GPS y la indicada por el velocímetro, para la velocidad de ensayo, se podría utilizar como referencia para el conductor a la hora de conocer con más exactitud la velocidad a la que realizar la frenada. Pero utilizando el GPS el técnico puede ir indicando al conductor el momento de realizar la frenada.

3.5.3 CONCLUSIONES

Analizando las alternativas propuestas, cada una cuenta con sus propias ventajas y desventajas. Los métodos indirectos, aunque han demostrado una precisión suficiente, tiene la desventaja de que el técnico ha de estar en el exterior del vehículo, y que es necesaria la realización de cálculos posteriores para determinar la velocidad. En el caso de Witty System, aunque permita obtener la velocidad, su precio es muy elevado.

Respecto a la pistola radar, su precio es más reducido que los equipos indirectos, pero pueden ser necesarios varios intentos para que el conductor realice la frenada a la velocidad indicada, de la que solo se permite una desviación del 2 %.

Por tanto, debido a que la utilización del GPS permite, tanto la estancia del técnico en el habitáculo para observar otros parámetros, como una mayor precisión a la hora de alcanzar la velocidad requerida, se ha elegido esta opción como la alternativa más adecuada para la medición de la velocidad.

3.6 DECELERACIÓN

Igual que la velocidad, la deceleración es un parámetro indispensable para el ensayo, que puede calcularse indirecta o directamente. La normativa indica que, en el caso de no determinar la deceleración media mediante el cálculo de distancia y velocidad (método indirecto) , el error máximo admisible será de un 3%.

3.6.1 DETERMINACIÓN INDIRECTA

Para la determinación indirecta de la deceleración media, se utilizará la fórmula siguiente, recogida en el reglamento:

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(S_e - S_b)}$$

Salvo para el caso del método modelo, el realizado por LAIMUZ, resulta complicado determinar las distancias S_e y S_b , correspondientes a las distancias recorridas por el vehículo hasta alcanzar el 80% de su velocidad inicial y el 10% respectivamente, por lo que se supone una deceleración media estabilizada, constante en toda la frenada, que se obtiene despejando de la fórmula siguiente:

$$s = \frac{V_0^2}{25,92 * d_m'}$$

Se tienen todas las incógnitas de la ecuación, siendo V_0 la velocidad determinada por las distintas alternativas, s la distancia medida de frenado y d_m' la deceleración media estabilizada que se quiere obtener, quedando:

$$d_m' = \frac{V_0^2}{25,92 * s}$$

El técnico deberá realizar la operación una vez obtenidos todos los valores necesarios.

3.6.2 DETERMINACIÓN DIRECTA

3.6.2.1 Acelerómetro triaxial

Se trata de un equipo de medición de deceleraciones en los 3 ejes, marca ATA-OYO modelo AC3Tx, similar al módulo del Sistema Inercial, y que se utiliza como alternativa al mismo debido a su menor precio. El LAIMUZ dispone de este dispositivo, pero utiliza el IGS inercial por su mayor precisión y cantidad de datos. La principal desventaja es que ha

de conectarse a un amplificador de señal por lo que no se puede usar independientemente. La sensibilidad de este sensor es de 200mv/g. No ha podido obtenerse el grado de precisión en la medida de la deceleración. Tiene un coste aproximado de 1500 euros.



Imagen 27: Acelerómetro triaxial ATA-OYO AC3Tx

3.6.2.2 Acelerómetro digital portátil PCE-VD 3

Acelerómetro universal portátil y digital que integra un sensor de aceleración triaxial. Permite colocación en partes fijas del automóvil y medición de hasta +/- 18g. Tiene una precisión de +/- 0.5 g pero la desventaja de que ha de ser conectado a un ordenador por puerto USB. Su precio es de 120 euros.



Imagen 28: Acelerómetro triaxial PCE-VD 3

3.6.2.3 Decelerómetro BrakeCheck

Dispositivo portátil y totalmente independiente, vendido por la empresa Ryme, accionado por batería, que puede utilizarse para probar e informar sobre el rendimiento de los frenos de los vehículos. Permite calcular la deceleración del vehículo con una precisión de hasta +/- 0.02 G, y un escalón de medida de 0.1 m/s². Además permite determinar la distancia de frenado así como la velocidad de la prueba, y también indica la tendencia de viraje en el frenado. Cuenta con una pantalla led que muestra los resultados, así como una impresora para dejar constancia de los mismos en papel. Todas estas funciones permiten la obtención de la mayoría de los parámetros requeridos en el ensayo. El equipo completo tiene un precio de 1090 euros con todo el equipo incluido.



Imagen 29: Equipo de verificación de frenado BrakeCheck.

El último equipo expuesto, podría clasificarse como una alternativa completa para la realización del ensayo, pero se ha clasificado en el apartado de deceleración por ser esta la función principal a la que están destinados. En el apartado de conclusiones, se evaluará como método completo debido a que con el añadido de un pequeño número de equipos extras, puede cubrirse la totalidad del ensayo.

Al analizar los equipos obtenidos, se puede observar que la utilización del método indirecto no requiere la utilización de ningún equipo adicional para medir la deceleración.

4. VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS

Tras exponer todas las alternativas planteadas, puede observarse la gran cantidad de ellas, y el gran número de combinaciones posibles que existen para cubrir las condiciones del ensayo. Se van a proponer diversas combinaciones de equipos para conformar un método, y se compararán en función del precio y el número de componentes necesarios.

4.1 MÉTODO LAIMUZ

El primero de ellos es el Método modelo, en el que se ha basado este proyecto, y que se realizaba con anterioridad en el LAIMUZ. La adquisición del equipo necesario tiene un coste de 12650 € para sus 8 equipos implicados.

4.2 MÉTODO INDIRECTO

El segundo método es el de determinación indirecta (tanto de la velocidad como de la deceleración). En este caso se utilizan, el inclinómetro AccuRemote digital para la medición de la horizontalidad, el pirómetro digital de EC Technology para medir la temperatura de los frenos, la pistola de hinchado Norauto para medición de la presión de los neumáticos, el pisómetro digital de PCE Instruments como medidor de la fuerza de pisada y para medir la distancia se utiliza la cinta métrica CM113 de GIS Ibérica. Para la determinación de la velocidad se utilizará el cronómetro con balizas ChronoJump, con el añadido de un ordenador portátil. Y para el cálculo de la deceleración se realizará mediante la aplicación de la fórmula expuesta. En total la adquisición de estos equipos supone un coste de 1685 €, repartidos en un total de 8 equipos.

EQUIPO	PRECIO (€)
Inclinómetro	30
Pirómetro	20
Manómetro	25
Pisómetro	650
Cinta Métrica	80
ChronoJump	450
Cinta Métrica	30
Ordenador Portátil	400
PRESUPUESTO TOTAL	1685

Tabla 4: Presupuesto Método Indirecto

4.3 MÉTODO SEMIDIRECTO

Para este método se utilizarán los mismos equipos que en el método indirecto, con la salvedad de que el equipo de medición de velocidad mediante cronometraje de una distancia ChronoJump, será sustituido por un GPS Garmin GLO, que permitirá obtener esta medida de forma directa, si bien para el cálculo de la deceleración se seguirá utilizando el método indirecto con la fórmula expuesta. La utilización del GPS implica que no es necesaria la utilización de un ordenador portátil y basta con conectar el GPS a cualquier teléfono inteligente. Para la determinación de la distancia de frenado se ha de utilizar la cinta métrica, ante la imposibilidad de relacionar la distancia medida con el GPS con el instante en que comienza el frenado. El precio del equipo completo para la realización de este método es de 905 €, con un total de 6 equipos.

EQUIPO	PRECIO (€)
Inclinómetro	30
Pirómetro	20
Manómetro	25
Pisómetro	650
Cinta Métrica	80
GPS	100
PRESUPUESTO TOTAL	905

Tabla 5: Presupuesto del método semidirecto.

4.4 MÉTODO DIRECTO

Para la realización de este método se va a utilizar el equipo BrakeCheck, que permite la medición de distancia de frenado, deceleración y velocidad de ensayo. A esto hay que añadir el inclinómetro, el pirómetro, el manómetro y el pisómetro. El precio de todo el equipo es de 1825 € con un total de 5 equipos. Para evitar la realización de múltiples intentos debido a la imprecisión por parte del conductor de alcanzar la velocidad de ensayo con un error del 2% como máximo, se podría incorporar el modelo de GPS propuesto, para que el conductor pueda visualizarlo antes de realizar el frenado.

EQUIPO	PRECIO (€)
Inclinómetro	30
Pirómetro	20
Manómetro	25
Pisómetro	650
BrakeCheck	1100
PRESUPUESTO TOTAL	1825

Tabla 6: Presupuesto del método directo.

4.5 VALORACIÓN

Después de desglosar los presupuestos de los métodos propuestos se observa que los tres métodos significan una reducción de precio considerable frente al ensayo modelo.

El método de determinación semidirecta, con la utilización del GPS, tiene el precio más reducido, siendo casi la mitad que los otros dos. Evita la parte de medición del tiempo requerida en el método indirecto, y no requiere de equipo de precio tan elevado como el método directo. Este último presenta un precio ligeramente superior al método indirecto, pero el menor número de equipos necesarios y la facilidad de uso hacen que el aumento de precio esté justificado.

Por tanto un equilibrio entre determinación directa e indirecta, permite un precio reducido, un fácil utilización y menor necesidad de cálculos que en el método indirecto, y un menor desembolso en equipos que el método de determinación directa.

En cuanto a la facilidad de uso, queda demostrado que el método indirecto es el que presenta mayores dificultades, ya que se ha de medir con precisión el tramo

cronometrado para poder arrojar medidas de velocidad precisas, es necesaria la realización de diversos cálculos (aunque simples), para obtener la velocidad y la deceleración, además de la posibilidad de tener que realizar múltiples intentos ya que el técnico solo puede comunicar al conductor si la velocidad a la que se ha realizado el ensayo es la correcta una vez realizado el mismo. Para indicar al conductor el punto en el que ha de realizar en ensayo, este ha de ser marcado en la pista, y a partir del mismo se comenzará a medir la distancia de frenado.

El método directo tiene la misma desventaja que el método anterior, ya que el equipo Brake Check arroja la medida de la velocidad del ensayo una vez realizado el mismo. No es necesario realizar cálculos ni medidas adicionales y los resultados son impresos por el propio equipamiento. Se trata del método más rápido de los tres propuestos, y no requiere un punto de inicio de frenada.

Finalmente el método semidirecto cuenta con la ventaja de una medida en tiempo real de la velocidad para permitir al conductor alcanzar la necesaria con más precisión, y una vez obtenida la medida de la velocidad con el GPS y realizada la medida de la distancia de frenado, la determinación de la deceleración media es prácticamente inmediata con la sencilla operación. Por tanto, igual que en el método indirecto, es necesario marcar en la pista el punto en el que el conductor ha de efectuar el frenado.

Los tres métodos tienen en común la medición de la horizontalidad de la pista, la temperatura de los frenos, la presión de los neumáticos y la fuerza de pisada ejercida sobre el pedal de freno.

5. CONCLUSIONES

La conclusión a la que se ha llegado con la realización de este trabajo, es que en este ensayo en particular, y en muchos otros en general, existen multitud de equipamientos y métodos para poder realizarlos. El objetivo ha sido encontrar un equilibrio entre precisión de los equipos y precio, si bien algunos equipos contaban con un precio muy reducido, su precisión no alcanzaba con las especificaciones. Sin embargo, otros equipos muy avanzados y con altas prestaciones, alcanzan precisiones muy elevadas, si bien no es necesaria tanta exactitud en la aplicación que se trata.

El factor diferencial a la hora de elegir un equipo, aparte de la calidad de los mismos y de las funciones que puedan realizar, ha sido la posibilidad de utilizarlo independientemente, ya que la mayoría de los equipos del método modelo del LAIMUZ, aunque muy precisos, requerían la utilización tanto del amplificador de señal como del

ordenador portátil, por lo que su precio se veía incrementado, y sus posibilidades de uso independiente reducidas.

De los 3 métodos propuestos, el que utiliza el GPS para la determinación directa de la velocidad, y esta última medida junto con la de la distancia de frenado para la determinación indirecta de la deceleración, puede estar más dirigido hacia técnicos de homologación trabajadores por cuenta propia, que realicen ensayos de homologación para clientes que han realizado reformas a sus vehículos. La facilidad de uso de todos los equipos, así como el reducido precio de los mismos, hace que este método sea la opción más recomendada para este tipo de situaciones.

Por otro lado, la utilización del equipo de BrakeCheck, estaría más indicada para entidades de homologación, o que cuenten con un presupuesto más elevado, como Universidades o centros de investigación. El precio más elevado respecto al método anterior se justifica con el menor número de equipos necesarios para la realización del ensayo, y si se incorpora el GPS como equipo adicional, tal y como se ha comentado en el anterior apartado, la realización de este ensayo se puede llevar a cabo en un menor tiempo que los anteriores, lo que supone una ventaja si las entidades que lo realizan esperan contar con un gran número de clientes. Otra opción de la que disponen estas entidades, si su presupuesto e instalaciones lo permiten, sería estudiar la viabilidad de construir su propia pista de ensayos. Dicha pista contaría con todas las especificaciones en lo relativo a dimensiones, horizontalidad y adherencia, por lo que la realización del ensayo sería incluso más rápida, eliminando las mediciones de horizontalidad de la pista.

En resumen, el presente trabajo se ha centrado en encontrar alternativas para la realización del ensayo de frenada de Tipo 0, analizando si cumplían sus especificaciones y planteando distintos métodos que se adapten a distintas necesidades.

6. POSIBILIDADES FUTURAS

Con el planteamiento de los diversos métodos anteriormente expuestos, aparecen ciertas posibilidades relacionadas con los mismos, que debido a los plazos de realización de este proyecto y ante la imposibilidad de adquisición de todos los equipos necesarios, ha sido imposible realizar. Además se planean la realización de diversos proyectos en concordancia con el ensayo tratado.

- Realizar el ensayo de frenada Tipo 0 para comparar la efectividad de los métodos propuestos con el método modelo del LAIMUZ. Se estudiaría la adquisición de los equipos propuestos en alguno de los métodos anteriores, en función de las necesidades y el presupuesto. Posteriormente se realizaría el ensayo utilizando los equipos de ambos métodos simultáneamente para comprobar si la precisión teórica se cumple en la práctica.
- Mejora del equipo BrakeChek en colaboración con la empresa Ryme. A la hora de contactar con la empresa Ryme, fabricante del equipo BrakeChek, se informó de que el equipo anunciado en su página web, el decelerómetro 8531, había dejado de ser fabricado. El interés por este equipo residía en la incorporación de un pisómetro que hacía posible la medición de la fuerza ejercida sobre el pedal de freno. Se ahondaría en la posibilidad de añadir este equipo al ya disponible, así como la reprogramación del software de la consola para que mostrase la velocidad instantánea en la pantalla LCD, para facilitar la realización del ensayo a la velocidad indicada.
- Estudio de la viabilidad de construir un banco de ensayos. Similar a los bancos dinamométricos con los que cuentan las estaciones de itv, se estudia la posibilidad de alcanzar las velocidades requeridas por el ensayo tratado. Posteriormente, con las mediciones arrojadas por los rodillos del banco en lo relativo a la fuerza de frenado, se obtendrían los parámetros de deceleración, velocidad y distancia recorrida.
- Llegado el caso en el que un cliente requiriese la implantación de un método de realización de este ensayo en sus propias instalaciones, realizar el estudio de viabilidad de construcción de su propia pista de ensayos con las características que el ensayo de frenado específica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-1826>
- [2] Reglamento numero 13-H de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE). <http://www.boe.es/doue/2015/335/L00001-00084.pdf>
- [3] Trabajo Fin de Grado: Implementación de un procedimiento de ensayo de frenado según el Reglamento 13 y 13H. Pablo Ruiz Lafoz, 2016.
- [4] Directiva 2004/22/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 31 de marzo de 2004, relativa a los instrumentos de medida
- [5] Directiva 2000/7/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de Marzo de 2000, relativa al velocímetro de los vehículo a motor de dos o tres ruedas.
- [6] Directiva 71/320/CEE del Consejo, 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.

ANEXOS

ANEXO I: DEFINICIONES

El ensayo en el que se centra este trabajo, está orientado a homologar el sistema de frenado de un determinado tipo de vehículo por lo que antes de proponer las distintas alternativas es conveniente conocer las definiciones de los sistemas que se analizan, así como los tipos de vehículos implicados. Los conceptos que se definen, de acuerdo con el Reglamento 13H de la CEPE sobre la homologación de vehículos en lo relativo a frenado, son:

- Sistema de frenado.
 - Componentes del sistema de frenado.
 - Dispositivos de frenado en los vehículos.
 - Tipos de sistemas de frenado.
 - Asistentes para el frenado.
- Categorías de vehículos.
 - M
 - N
 - O
- Tipos de ensayo.
- Cargas del vehículo.
- Otras definiciones relativas al frenado.

1. SISTEMA DE FRENADO

Tal como se define con anterioridad, y según el reglamento 13H, un sistema o equipo de frenado es el "conjunto de partes que tienen por función disminuir progresivamente la velocidad de un vehículo en marcha, hacer que se detenga o mantenerlo inmóvil si se encuentra ya detenido" Los componentes del sistema de frenado son los siguientes:

1.1 COMPONENTES DEL SISTEMA DE FRENADO

- Mando: es la pieza que el conductor ha de accionar para proporcionar a la transmisión la energía necesaria para el frenado y su control. Dicha energía puede ser directamente la muscular del conductor o una controlada, o bien una combinación de ambas.

-Transmisión: Corresponden al conjunto de componentes que se sitúan entre el mando y freno y que los une funcionalmente. Si la fuente de energía utilizada en el frenado es independiente del conductor, pero controlada por este, la reserva de dicha energía será parte de la transmisión. Existen distintos tipos de transmisión, en función de los métodos que utilizan: mecánica, hidráulica, neumática, eléctrica o mixta..

La transmisión consta de dos funciones independientes, la transmisión del mando y la transmisión de energía. La transmisión del mando comprende los componentes que controlan el funcionamiento de los frenos, incluida la función de mando y las reservas de energía en caso de existir. La transmisión de energía la forman los componentes que suministran la energía necesaria para que los frenos funcionen, incluidas las reservas de energía.

-Freno: Es la pieza donde se desarrollan las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. Existen distintos tipos de freno en función de cómo se producen las fuerzas que accionan el mismo: fricción, eléctrico, hidráulico o motor.

1.2 DISPOSITIVOS DE FRENADO EN LOS VEHÍCULOS

Estos dispositivos se diferencian entre sí por las funciones a las que están destinados, por tanto, según la función que han de cumplir se diferencian los siguientes sistemas de frenado dentro de un vehículo.

- Sistema de frenado de servicio: Este sistema permitirá controlar el movimiento del vehículo con el objetivo de pararlo de forma segura, rápida y eficaz, independientemente de la carga, la velocidad o la pendiente por la que circule el vehículo. Sus efectos deberán

ser regulables y el conductor deberá ser capaz de accionarlo desde el propio puesto de conducción sin necesidad de apartar las manos del mecanismo de dirección.

- Sistema de frenado de socorro: Este sistema deberá detener el vehículo en una distancia razonable en caso de que falle el freno de servicio. Tendrá efectos regulables y será accionado por el conductor sin retirar las manos del mecanismo de dirección. No podrá producirse a la vez más de un fallo del sistema de frenado de servicio.

- Sistema de frenado de estacionamiento: Deberá permitir mantener inmóvil el vehículo en una pendiente incluso en ausencia del conductor, quedando en posición de bloqueo las superficies activas del freno por medio de un dispositivo de acción puramente mecánica. EL conductor podrá accionar este sistema desde el puesto de conducción.

1.3 TIPOS DE SISTEMAS DE FRENADO

A la hora de elegir el sistema de frenado más adecuado para un tipo de vehículo, pueden barajarse multitud de opciones, clasificadas en función de cómo estos sistemas accionan las fuerzas sobre los ejes de las ruedas.

- Sistema de accionamiento por fricción: Basado en la fricción producida debido al contacto de dos piezas con movimiento relativo pero sin existir contacto entre ellas.

- Sistemas de accionamiento eléctrico: Las fuerzas que ejercen se deben a la acción electromagnética de dos elementos de vehículo, con movimiento relativo pero sin existir contacto entre ellos. El más destacable es el frenado eléctrico regenerativo, mediante el cual, durante el frenado o la desaceleración del vehículo, se crea energía eléctrica mediante la transformación de energía cinética. A su vez existen dos categorías:

- Categoría A: Este sistema de frenado no forma parte del sistema de frenado de servicio.

- Categoría B: Este sistema de frenado forma parte del sistema de frenado de servicio.

- Sistema de accionamiento hidráulico: Este sistema de frenado obtiene la energía de un líquido hidráulico almacenado a presión en uno o varios acumuladores conectados a una o varias bombas a presión.

1.4 ASISTENTES PARA EL FRENADO

Según el reglamento, existen tres categorías de sistemas de asistencia en el frenado:

- Categoría A: Dispositivo que detecta una situación de frenado de emergencia a partir de la fuerza que el conductor aplica sobre el pedal de freno.

- Categoría B: Dispositivo que detecta una situación de frenado de emergencia a partir de la velocidad a la que el conductor utiliza el pedal de freno.

- Categoría C: Dispositivo que detecta una situación de frenado de emergencia a partir de varios criterios, uno de los cuales será el coeficiente de uso del pedal del freno.

El reglamento expone los siguientes sistemas de asistencia:

- Sistema de Control de la Estabilidad o sistema ESC: Tiene como objetivo mejorar la estabilidad direccional del vehículo mediante, al menos, la capacidad de controlar automáticamente los pares de frenado de las ruedas izquierda y derecha de cada eje para inducir un momento de deriva corrector a partir de la evaluación del comportamiento real del vehículo en comparación con una determinación del comportamiento del vehículo solicitada por el conductor.

Además, está controlado por un módulo informático que limita el sobrevirado o subvirado del coche y es capaz de determinar directamente la velocidad de guiñada del vehículo, controlar las señales dadas a la dirección por el conductor y determinar la necesidad de modificar el par de propulsión para ayudar al conductor a mantener el control sobre el vehículo.

- Sistema de asistencia en frenado o BAS: Es una de las funciones del sistema de frenado, que a partir de una característica de intento de frenar del conductor, deduce una situación de frenado de emergencia y que en tal caso ayuda al conductor a lograr el índice de frenada máximo y es suficiente para que el ABS realice ciclos completos.

Con motivo de proporcionar una descripción del sistema anteriormente nombrado, ABS, que no aparece en el reglamento, se añade el siguiente apartado dentro de los sistemas de asistencia en el frenado

- Sistema antibloqueo o ABS: Este sistema tiene como objetivo regular la acción de los frenos para que durante el frenado, se evite el bloqueo de las ruedas, logrando así una mayor eficiencia de frenado, traducida en una menor distancia recorrida.

2. CATEGORÍAS DE VEHÍCULOS

Mediante la realización de los distintos ensayos de frenado, la directiva nombrada anteriormente, 71/320/CEE [6], y más en concreto sus reglamentos 13 y 13H, definen las categorías de vehículos a los que se puede entregar la homologación de su sistema de frenado. Se distinguen las categorías M, N y O.

2.1 CATEGORÍA M

Compuesta por vehículos a motor orientados al transporte de personas, con al menos cuatro ruedas, o tres ruedas con al menos de 1 tonelada de peso. Existen 3 subcategorías dentro de la categoría M:

- M1: Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, ocho plazas como máximo. Esta subcategoría es en la que se centra el trabajo, y la que se llevará a ensayo.

- M2: Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, más de ocho plazas y que cuenten con un peso máximo que no supere las cinco toneladas.

- M3: Vehículos destinados al transporte de personas que tengan, además del asiento del conductor, más de ocho plazas y cuenten con un peso máximo superior a las cinco toneladas.

2.2 CATEGORÍA N

Compuesta por los vehículos a motor destinados al transporte de mercancías, con al menos cuatro ruedas, o tres ruedas con un peso máximo superior a 1 tonelada. A su vez existen las siguientes subcategorías dentro de la categoría N:

- N1: Vehículos destinados al transporte de mercancías con un peso máximo inferior a las tres toneladas y media.

- N2: Vehículos destinados al transporte de mercancías con un peso máximo superior a las tres toneladas y media pero inferior a doce toneladas.

- N3: vehículos destinados al transporte de mercancías con un peso superior a las doce toneladas.

2.3 CATEGORÍA O

Compuesta por los remolques destinados al transporte de mercancías o de personas, así como para alojar personas.

- O1: Remolques con un peso máximo inferior a 0.75 toneladas.

- O2: Remolques con un peso máximo superior a 0.75 toneladas e inferior a 3.5 toneladas.

- O3 Remolques con un peso máximo superior a 3.5 toneladas pero inferior a 10 toneladas.

- O4: Remolques con peso máximo superior a 10 toneladas.

3. TIPOS DE ENSAYO

Igual que sucede con las categorías de vehículos, en la normativa europea CEPE y en sus reglamentos 13 y 13H se describen con precisión los ensayos que se han de superar para obtener la homologación en lo relativo al frenado. Se definen las condiciones y métodos a aplicar en cada uno de ellos, y para cada uno, distintas condiciones iniciales, distintos sistemas de frenado a utilizar etc. Según estas condiciones y especificaciones se distinguen los siguientes ensayos de frenada.

- Ensayo Tipo 0: Ensayo del rendimiento ordinario con los frenos fríos.

- Ensayo Tipo I: Ensayo de pérdida de eficacia de los frenos.

- Ensayo Tipo II: Ensayo del comportamiento de los frenos con el vehículo circulando por un firme con pendiente negativa.

- Ensayo Tipo II A: Ensayo del rendimiento de frenado de resistencia.

- Ensayo Tipo III: Ensayo de la pérdida de eficacia para vehículos de tipo O4.

4. CARGAS DEL VEHÍCULO

4.1 MASA MÁXIMA

La masa máxima se define como la masa máxima técnicamente admisible declarada por el fabricante del vehículo. Esta masa máxima puede ser superior a la masa máxima autorizada, que declara la competencia nacional correspondiente.

4.2 DISTRIBUCIÓN DE LA MASA ENTRE LOS EJES

Referida a la distribución sobre los ejes del vehículo del efecto de la gravedad sobre la masa del vehículo y sobre su contenido.

4.3 CARGA POR RUEDA O POR EJE

La carga por rueda corresponde con la reacción vertical (fuerza) estática de la superficie de rodadura ejercida en la zona de contacto con la rueda o ruedas del eje.

5. OTRAS DEFINICIONES RELATIVAS AL ENSAYO

5.1 VALOR NOMINAL

Son necesarias las definiciones del valor nominal de la eficacia de referencia del frenado para asignar un valor a la función de transferencia del sistema de frenado que relaciona los valores obtenidos con los aportados por cada vehículo.

Por tanto el valor nominal quedará definido como la característica que puede demostrarse en la homologación y que relaciona el coeficiente de frenado del vehículo por sí mismo con el nivel de la variable aportada por el frenado

5.2 SEÑAL DE FRENADO

Señal lógica que indica la activación del frenado.

ANEXO II: NORMATIVA DEL ENSAYO: EJECUCIÓN, CONDICIONES, REALIZACIÓN Y DEFECTOS

1. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

La comprobación de la eficacia prescrita para los sistemas de frenado se basará en la comprobación tanto de la distancia de frenado como de la deceleración media estabilizada. Por tanto para la determinación de la eficacia o el rendimiento del sistema de frenado, se medirá la distancia de frenado en relación con la velocidad inicial, o midiendo la deceleración media estabilizada durante el ensayo.

La distancia de frenado será la distancia que el vehículo recorre desde el momento en el que el propio conductor acciona el mando del sistema de frenado, hasta el momento en el que el vehículo se detenga por completo.

La velocidad inicial del ensayo será la velocidad a la que el vehículo está circulando en el momento en el que el conductor acciona el mando del sistema de frenado. Esta velocidad no debe de ser inferior al 98 % de la velocidad exigida en el ensayo considerado. Dichas velocidades se recogen en la tabla posterior de las condiciones exigidas del ensayo y de la eficacia del sistema de frenado.

La deceleración media estabilizada, se podrá medir con los aparatos indicados anteriormente, o en su defecto, calcular según la definición del reglamento 13H, como la deceleración media en relación con la distancia en el intervalo V_b - V_e , mediante la siguiente fórmula:

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(S_e - S_b)}$$

Los componentes de la ecuación anterior se definen:

- V_o : velocidad inicial del vehículo en km/h.
- V_b : velocidad del vehículo calculada como $0,8 V_o$ (km/h).
- V_e : velocidad del vehículo calculada como $0,1 V_o$ (km/h).
- S_b : distancia recorrida por el vehículo entre V_o y V_b (m).
- S_e : distancia recorrida por el vehículo entre V_o y V_e (m).

En su defecto, la deceleración media estabilizada podrá ser estimada de forma conservadora como el valor medio, de la deceleración no nula, registrada por el equipo de medida durante la ejecución de cada ensayo desde V_o hasta que el vehículo se detenga. Este valor se registrará como d_m .

La distancia de frenado en metros, viene dada por la siguiente expresión:

$$s = \frac{V_o^2}{25,92 * d_m}$$

La velocidad y la distancia se determinarán mediante instrumentación cuyo margen de error sea de $\pm 1 \%$ a la velocidad exigida para el ensayo.

Cuando la deceleración media se determine mediante otros métodos que no sean la medición de la velocidad y la distancia; su margen de error será de $\pm 3 \%$.

2. CONDICIONES DE ENSAYO

Para realizar la comprobación del comportamiento general y de la eficacia de frenado de servicio de un vehículo, se realizará un ensayo en pista de acuerdo con las siguientes condiciones:

2.1 CARRETERA O PISTA

Para que la ejecución del ensayo sea válida, la carretera o pista en la que se realice habrá de cumplir las siguientes condiciones:

- El tramo sobre el que se realizará la medición, contará con, al menos 200m, y en el mismo se comprobará que la horizontalidad se mantiene en 5 puntos uniformemente separados con una tolerancia de 0,5°.

- Se comprobará que dicho tramo de pista cuenta con una anchura mínima de 3.5 metros en los 200 metros que la componen.

- Se comprobará que se encuentre seca para permitir una adherencia adecuada.

- Se comprobará la uniformidad del pavimento, así como la ausencia de agua, para garantizar una correcta adherencia.

2.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

El ensayo habrá de realizarse con un viento inferior a los 15 km/h para evitar que el mismo influya en los resultados. Este factor del ensayo podrá ser comprobado mediante equipamiento propio o de acuerdo a la información aportada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para la zona en la que se realice el ensayo.

2.3 CONDICIONES DEL VEHÍCULO

- Neumáticos: Al comienzo del ensayo, los neumáticos del vehículo sometido a ensayo estarán fríos, e hinchados a la presión prescrita para la carga efectivamente soportada por las ruedas cuando el vehículo está parado.

- Frenos: Antes de proceder a cualquier accionamiento del freno, la temperatura media de los mismos estará situada entre los 65 y los 100 grados centígrados. Esta medición se realizará en los frenos de servicio, dentro de los forros del freno o en el recorrido de frenado del disco o tambor, siempre en el eje más caliente del vehículo.

- Carga: Para los ensayos con el vehículo cargado, la distribución de la masa sobre los ejes del vehículo prescrita por el fabricante habrá de ser respetada. Si se prevé que se vayan a realizar varios ensayos con varias disposiciones de carga sobre los ejes, estas distribuciones de la masa máxima entre los ejes deberán ser tal que la carga sobre cada eje sea proporcional a la masa máxima admisible por cada eje.

Para ello, además del conductor, se colocarán el número de pasajeros adicionales en sus asientos correspondientes, o su carga equivalente (68 kg), y una carga centrada de (7 kg x plazas vehículo - 1) en el maletero.

3. REALIZACIÓN DEL ENSAYO.

Para proceder a la realización del ensayo, el inspector habrá de elegir unas instalaciones cuya superficie cumpla con los requisitos establecidos en la instrucción técnica, y que estén de mutuo acuerdo con el cliente. Se tomarán los resultados directamente sobre el vehículo. Se medirán la deceleración media y la distancia de frenado.

Antes de comenzar el ensayo, se preparará el equipo necesario de la siguiente manera:

- Se instalará el equipo de control para medir la deceleración del vehículo, en un emplazamiento fijo orientado en la dirección de avance del vehículo. El equipo necesario para medir la velocidad del vehículo se instalará en este mismo emplazamiento.

- Se fijará con seguridad el equipo utilizado para medir la fuerza de actuación sobre el mano de frenado.

Para medir la eficacia y asegurarse de que las mediciones son correctas, se realizarán dos tipos de ensayos.

- Ensayo de frenado con el motor embragado
- Ensayo de frenado con el motor desembragado

Ambos ensayos se realizarán tanto con el vehículo cargado como descargado. Además, para cada situación habrán de constar dos muestras registradas. Para la familiarización del inspector del vehículo, se realizarán las frenadas necesarias, que no serán de obligado registro. Las dos muestras que se registren para cada tipo de ensayo y para condición de carga, se habrán de realizar en sentidos opuestos de desplazamiento sobre la pista elegida.

Para todas y cada una de las muestras de frenada, se mantendrá el vehículo a una velocidad estabilizada y constante en recta que no deberá ser inferior a un 98 por ciento de la velocidad que se exige en el ensayo considerado. Estas velocidades se exponen en

la tabla a continuación. Esta tabla expone las condiciones relativas al ensayo de frenado de tipo 0, con el objetivo de comprobar la eficacia de frenado del vehículo con los frenos en frío y en situaciones de motor embragado y desembragado.

Ensayo de tipo 0 con el vehículo con el motor desembragado.	V s ≤ d _m ≥	100 km/h 0,1 v + 0,0060 v ² (m) 6,43 m/s ²
Ensayo de tipo 0 con el vehículo con el motor embragado.	V s ≤ d _m ≥	80 % v _{máx} ≤ 160 km/h 0,1 v + 0,0067 v ² (m) 5,76 m/s ²
Fuerza de pisada en el freno	f	6,5 - 50 daN

Tabla 1: Condiciones de ensayo y eficacia del sistema de frenado de servicio

Las constantes utilizadas en la anterior tabla se definen de la siguiente manera:

v = velocidad de ensayo (km/h)

s = distancia de frenado (m)

d_m = deceleración media estabilizada (m/s²)

f = fuerza ejercida sobre el pedal del freno (daN)

v_{max} = velocidad máxima del vehículo (km/h)

En el caso de que la velocidad máxima que el vehículo alcance por fabricación, sea inferior a la prescrita para el ensayo, este deberá realizarse a la velocidad máxima que alcance el vehículo.

Durante todos los ensayos, la fuerza ejercida por el conductor sobre el mando del freno, no debe superar la fuerza máxima, establecida en un intervalo de entre 6,5 y 50 daN.

Para cada uno de los ensayos, los datos que deberán tomarse serán los siguientes: velocidad de ensayo (v), deceleración media estabilizada (d_m), distancia de frenada (s) y fuerza ejercida sobre el pedal de freno (f).

Se incluye una hoja de toma de datos que se utiliza en el laboratorio para realizar la anotación de las medidas correspondientes en el Anexo III: Documentación ensayo LAIMUZ.

4. INTERPRETACIÓN DE DEFECTOS

El vehículo deberá cumplir el requisito de la distancia de frenado (s) y de la deceleración media estabilizada (dm) o en su defecto (dm'), pero puede que no sea necesario medir realmente estos dos parámetros, cuyos límites se muestran en la Tabla de condiciones de ensayo y eficacia del sistema de frenado de servicio, expuesta con anterioridad.

La eficacia exigida debe de obtenerse sin que durante la ejecución del ensayo se haya producido bloqueo de ruedas a velocidades superiores a 15 km/h, desviación del vehículo de un carril de 3,5 metros de ancho o se produzcan vibraciones anormales.

Como cómputo global, para la valoración general del ensayo resulte positiva, los siguientes requerimientos habrán de ser satisfechos (siempre y cuando no se produzca bloqueo de las ruedas):

- El vehículo tendrá un comportamiento general adecuado a las condiciones en las que se lleva a cabo el ensayo.

- En el caso del ensayo de tipo 0 con el vehículo con el motor desembragado y el frenado de servicio:

 - La eficacia mínima prescrita se deberá conseguir en la totalidad de los ensayos registrados realizados.

 - No se percibirán vibraciones que se consideren fuera de la normalidad en el funcionamiento del vehículo.

 - El vehículo se tendrá que mantener en el citado carril de 3,5 metros de ancho.

- En el caso del ensayo de tipo 0 con el motor embragado y el frenado de servicio:

 - La eficacia mínima prescrita se deberá conseguir en la totalidad de los ensayos registrados realizados.

 - No se percibirán vibraciones que se consideren fuera de la normalidad en el funcionamiento del vehículo.

 - El vehículo se tendrá que mantener en el citado carril de 3,5 metros de ancho.

En cualquier otro caso el resultado del ensayo se considerará desfavorable.

ANEXO III: DOCUMENTACION ENSAYO LAIMUZ

ACTO REGLAMENTARIO: Reglamento nº 13-H de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE/ONU) - Disposiciones uniformes sobre la homologación de los vehículos de turismo en lo relativo al frenado.

ENTRADA:	Nº Bastidor:
Marca /modelo vehículo:	
Matrícula:	Fecha primera matriculación:
Contraseña de homologación:	Categoría:

EQUIPAMIENTO EMPLEADO EN LA INSPECCIÓN

Equipo	Referencia
http://www.oxts.com/products/inertial/ http://www.novatel.com/products/span-gnss-inertial-systems/span-combined-systems/span-cpt/ http://www.advancednavigation.com.au/product/spatial?gclid=CMCa9dDlwr0CFerpgod7iMAMQ#specifications	
http://www.vteq.es/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=40&Itemid=74 http://www.ryme.com/decelerometro_8531.html	
GPS CANADA	

CONDICIONES DE ENSAYO

Emplazamiento:								CUMPLE:	
Horizontalidad (°)									
Velocidad viento máxima (km/h) según (AEMET / EQUIPO) (tachar el que no proceda)								CUMPLE:	
Presión en frío de los neumáticos (bar)		Presión en frío de los neumáticos según fabricante (bar)						CUMPLE:	
Temperatura de elementos de fricción antes del ensayo (entre 65 y 100 °C)								CUMPLE:	

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO

P _M : Masa del vehículo cargado en kg (Según documentación previa) (Mom + nº de pasajeros sin conductor x 75 kg):	1500
Masa del vehículo descargado en kg (Según documentación previa) (Mom): Para el ensayo, podrá haber, además del conductor, una segunda persona sentada en el asiento delantero y encargada de tomar nota de los resultados del ensayo	1000
P _R : Masa máxima en kg del remolque sin frenos que puede ser enganchado declarada por el fabricante del vehículo del vehículo de motor	750
Velocidad máxima del vehículo (km/h), según (documentación previa / Equipo) (tachar el que no proceda)	90

TABLA DE COMPROBACIONES

A) Ensayo del tipo 0 con motor desembragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	100 km/h $0,1 v + 0,0060 v^2$ (m) $6,43 \text{ m/s}^2$
B) Ensayo del tipo 0 con motor embragado	v $s \leq$ $d_m \geq$	$80 \% v_{\text{máx}} \leq 160 \text{ km/h}$ $0,1 v + 0,0067 v^2$ (m) $5,76 \text{ m/s}^2$
	f	6,5-50 daN

Cuando la velocidad máxima por fabricación del vehículo sea inferior a la prescrita para un ensayo, este deberá efectuarse a la velocidad máxima del vehículo

v = velocidad de ensayo en km/h
s = distancia de frenado en metros
d_m = deceleración media estabilizada en m/s²
f = fuerza ejercida sobre el pedal del freno en daN
v_{max} = velocidad máxima del vehículo en km/h

TABLAS DE ENSAYOS

ENSAYO DEL TIPO 0 CON MOTOR DESEMBRAGADO

v (km/h) (100 o v _{max}) =	90,00	Límite inferior (km/h)	88,20
--------------------------------------	-------	------------------------	-------

Carga / Sentido	v _{ens} (km/h)	f _{max} (daN)	f (daN) Rango	d _m ' (m/s ²) = d _m	d _m ' (m/s ²) mín	(s) (m) Cálculo	(s) (m) Rango max	Cumple
SI / D	89		6,5 - 50	5,40	6,43	56,59	56,43	
SI / I	90		6,5 - 50	6,1	6,43	51,23	57,60	
NO / D	89		6,5 - 50	2,2	6,43	138,91	56,43	
NO / I	89		6,5 - 50	3,3	6,43	92,60	56,43	

Adicional para vehículo de motor autorizado para arrastre de remolque sin frenos

Carga	P _M (kg)	P _R (kg)	(d _m) _{max} (m/s ²)	d _{M+R} (m/s ²): cálculo por $d_{M+R} = d_M \left(\frac{P_M}{P_M + P_R} \right)$ con (d _m) _{max}	d _{M+R} (m/s ²) mínima	Cumple
SI	1500	750	6,10	4,07	5,4	
NO	1500	750	3,30	2,20	5,4	

ENSAYO DEL TIPO 0 CON MOTOR EMBRAGADO

v (km/h) (0,8 v _{max} ≤ 160 o 160) =	72,00	Límite inferior (km/h)	70,56
---	-------	------------------------	-------

Carga / Sentido	v _{ens} (km/h)	f _{max} (daN)	f (daN) Rango	d _m ' (m/s ²)	d _m ' (m/s ²) mín	(s) (m) Cálculo	(s) (m) Rango max	Cumple
SI / D	71		6,5 - 50	5,40	5,76	36,02	40,87	
SI / I	72		6,5 - 50	1	5,76	200,00	41,93	
NO / D	71		6,5 - 50	2	5,76	97,24	40,87	
NO / I	71		6,5 - 50	3	5,76	64,83	40,87	

NOTA: No se realizará el ensayo del tipo 0 con motor embragado si la velocidad máxima del vehículo es ≤ 125 km/h

COMPROBACIONES ADICIONALES

Comportamiento general del vehículo	Cumple
Ausencia de vibraciones anormales:	
No bloqueo de las ruedas	
No salidas del vehículo de un carril de 3,5 m de ancho	

Observaciones:

Resultado de la inspección:	CUMPLE / NO CUMPLE
-----------------------------	--------------------

Realizado por:	Fecha de inspección:
Firma:	

