

Trabajo Fin de Grado

Modificación del sistema de frenado de un vehículo,
análisis y ensayo según requisitos ensayo tipo 0 del
Reglamento 13H

Modification of a vehicle braking system, analysis
and testing according to type 0 of Reglament 13H

Autor/es

Alejandro Lorente Corbacho

Director/es

Santiago Baselga Ariño

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2018



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. Alejandro Lorente Corbacho,

con nº de DNI 73220963-A 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)

Modificación del sistema de frenado de un vehículo, análisis y ensayo según
requisitos ensayo tipo 0 del reglamento 13-H

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

Zaragoza, a 18 de Noviembre de 2018

Fdo: Alejandro Lorente Corbacho

RESUMEN DEL PROYECTO

MODIFICACIÓN DEL SISTEMA DE FRENADO DE UN VEHICULO, ANALISIS Y ENSAYO SEGÚN REQUISITOS; ENSAYO TIPO 0 DEL REGLAMENTO 13-H

El trabajo llevado a cabo en el presente Trabajo Final de Grado se basa en el estudio, cálculo y análisis de resultados, de una modificación en el sistema de frenado en un vehículo.

Para comenzar el proyecto, se presenta el vehículo en cuestión; dicho vehículo es un Honda Civic SI, al cual le ha sido modificado el sistema de frenos, más concretamente las pinzas y los discos. El objetivo del proyecto, como se menciona más adelante, es el de realizar los cálculos y ensayos pertinentes para que el vehículo cumpla la normativa vigente y pueda circular por la vía pública.

En la memoria del presente proyecto se pueden encontrar de manera detallada los datos del vehículo necesarios para llevar a cabo los cálculos, la descripción de la reforma a la cual se ha sometido con datos e imágenes tanto del vehículo como de las diferentes partes modificadas que competen al proyecto.

Para la resolución del apartado de cálculos justificativos, se han realizado mediante una simplificación lineal, no se han tenido en cuenta las inercias y torsiones que se generarán en el momento de frenada. Esto simplifica en gran medida los cálculos. En éste apartado, se pueden encontrar los cálculos que se han llevado a cabo para demostrar que el vehículo cumple la normativa vigente en relación al frenado. Dentro de este apartado se encuentra el cálculo aproximado del sistema de frenado que posee el vehículo, así como el cálculo del disco de freno que posee, tanto el actual como anterior para realizar la comparativa entre ambos. Mediante los datos del sistema de freno del vehículo, se han desarrollado las curvas de equiaderencia e isodeceleración del mismo y así poder determinar las fuerzas y pares de frenado que necesitaría el vehículo dependiendo del terreno en el que se encuentre.

En conclusión, se puede afirmar que los cambios realizados en el Honda Civic modelo SI han mejorado la respuesta de frenado del vehículo; aunque dichos cálculos no corroboran que el vehículo esté cumpliendo la normativa. Según el Reglamento 13-H, todo turismo que circule debe pasar el ensayo tipo 0 el cual se ha llevado a cabo en el trabajo. Una vez llevado a cabo dicho ensayo y analizando sus resultados, podemos concluir que el vehículo cumple con la normativa.

GLOSARIO DE TERMINOS

En la siguiente tabla, se expondrán todos los términos que serán empleados a lo largo de este Trabajo de Final de Grado.

R	Radio de la rueda con neumático
R_i	Radio interno de la pastilla de freno
R_e	Radio externo de la pastilla de freno
P_H	Presión del cilindro hidráulico
A_{pastilla}	Área de la pastilla de freno
α	Angulo que abarca la pastilla
ϕ	Coeficiente de rozamiento de las pastillas de freno
P	Presión entre pastillas y discos
M	Par de frenada
r_d	Radio equivalente
W	Peso del vehículo
W_{VACIO}	Peso del vehículo en vacío
W_{CARGA}	Peso del vehículo en carga máxima
W_d	Peso sobre el eje delantero
W_t	Peso sobre el eje trasero
h	Altura del centro de gravedad del vehículo
L	Batalla del vehículo
b	Distancia del centro de gravedad al eje trasero
a	Distancia del centro de gravedad al eje delantero
μ	Coeficiente de adherencia
N_{dm}	Par de frenado máximo delantero
N_{tm}	Par de frenado máximo trasero
F_{dm}	Fuerza de frenado máxima delantera
F_{tm}	Fuerza de frenado máxima trasera

F_{ft}	Fuerza de frenado trasera
F_{fd}	Fuerza de frenado delantero
γ	Deceleración del vehículo
d	Diámetro hidráulico
T	Fuerza que actúa sobre cada pastilla
S	Superficie de las pastillas de freno
F_N	Fuerza normal ejercida por la pastilla
d_m	Deceleración media estabilizada
v	Velocidad del vehículo
s	Distancia recorrida por el vehículo
f	Fuerza ejercida sobre el pedal de freno
F_i	Fuerza de inercia
I	Índice del eje
P_i	Efecto normal de la superficie de rodadura
N_i	Reacción normal de la superficie de rodadura
f_i	T_i/N_i adherencia
z	Coefficiente de frenado del vehículo= J/g
E	Distancia entre ejes

Fuente: Elaboración propia

INDICE

1.-Introducción.....	6
2.-Objetivo	8
3.- Alcance.....	9
4.-Memoria	10
4.1.- Identificación del vehículo.....	10
4.2.- Datos generales.....	10
4.2.1.- Autor del proyecto.....	10
4.3.- Normativa aplicable.....	11
4.4.- Descripción y alcance de la reforma.....	14
4.4.1.- Descripción general de la reforma.....	14
4.4.2.- Detalles de la reforma.....	14
4.4.2.1.- Cambio de discos de freno.....	14
4.4.2.2.- Cambio de pinzas de freno.....	15
4.4.2.3.- Cambio de pastillas de freno.....	15
4.4.3.- Características del vehículos antes y después de la reforma.....	15
5.- Cálculos justificativos.....	17
5.1.- Calculo de freno de disco.....	17
5.1.1.- Cálculo de freno de disco antiguo.....	18
5.1.2.- Cálculo de freno de disco actual.....	18
5.1.3.- Conclusión	19
5.2.- Curvas de equiadherencia.....	19
5.3.- Curvas de isodeceleración	22
5.3.1.- Curvas de isodeceleración “en vacío”	23
5.3.2.- Curvas de isodeceleración “en carga máxima”	24
5.4.- Determinación del sistema de freno completo.....	26
5.5.- Realización del ensayo tipo 0 según reglamento 13-H.....	28
5.5.1.- Realización ensayo tipo 0 con motor desembragado	28
5.5.2.- Realización ensayo tipo 0 con motor embragado.....	31
6.- Conclusión final del proyecto.....	32
7.- Bibliografía.....	33
ANEXOS.....	34
Anexo 1.- Sistema de frenado	35
1.-Introduccion.....	35
2.-Fenomeno de frenado	36
3.-Frenos de disco	37
3.1.- Disco de freno	38
3.2.- Pinzas.....	38
3.3.- Piezas de fricción o zapatas.....	39
4.- Freno de zapata o tambor.....	39

Anexo 2.- Reglamento 13-H, ensayo tipo 0.....	42
2.1.- Ámbito de aplicación.....	42
2.2.- Especificaciones.....	42
2.2.1.- Generalidades.....	42
2.3.- Ensayos de frenado.....	43
2.4.- Ensayo tipo 0.....	45
2.5.- Eficacia del sistema de frenado.....	45
2.6.- Sistema de frenado de socorro.....	46
2.7.- Sistema de frenado de estacionamiento.....	46
2.8.- Anexo 5 del Reglamento 13-H: Distribución de frenado entre los ejes de los vehículos.....	47
2.8.1.- Procedimiento de ensayo.....	47
2.8.1.1.- Procedimiento de ensayo de la secuencia de bloqueo de rueda.....	48
2.8.1.2.- Procedimiento de ensayo de la rueda del par.....	49
Anexo 3.- Curvas de equiadherencia.....	51
3.1.- Interpretación de las curvas de equiadherencia.....	54
3.2.- Válvulas limitadoras de presión.....	55
Anexo 4.- Cálculo y determinación del equipo de frenos.....	57
4.1.- Cálculo de freno de disco.....	57
4.1.1.- Superficie de las pastillas.....	57
4.1.2.- Par de frenada.....	58
4.1.3.- Radio equivalente.....	58
4.2.- Determinación del equipo de freno.....	59
Anexo 5.- Certificado de taller.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos del vehículo	10
Tabla 2: Actos reglamentarios del C.R-7.1	13
Tabla 3: Detalles de la reforma	15
Tabla 4: Datos del disco de freno antes de reformar	18
Tabla 5: Datos del disco de freno después de reformar	19
Tabla 6: Datos necesarios para el cálculo de las curvas de equiadherencia	20
Tabla 7: Coeficientes de adherencia según el tipo y estado del suelo	22
Tabla 8: Condiciones de eficacia según Reglamento 13H	27
Tabla 9: Pruebas realizadas sobre el vehículo	28

1.-Introducción

Desde la creación del primer automóvil en 1860, el mundo del automóvil se ha desarrollado en todos sus aspectos; en lo referente al motor, suspensión, frenos, aerodinámica, neumáticos, transmisión... En la actualidad, el automovilismo se ha convertido en una de las disciplinas deportivas más desarrolladas en cuanto a tecnología. Hablamos de una industria que invierte mucho dinero para obtener los mejores avances en cualquiera de los aspectos antes mencionados.

Si echamos la vista atrás, el mundo del automovilismo ha cambiado mucho, esto se debe al avance de la tecnología y la necesidad de las personas de poseer un vehículo propio. De ésta necesidad, nace la afición de algunas personas por modificar sus vehículos con el fin de mejorar sus características.

Como sabemos, dentro de este mundo, aparecen competiciones de distinta índole y cada una de ellas posee sus propios reglamentos y normas. Por ejemplo, la Formula 1, los mundiales de resistencia, el mundial de motociclismo, etc.

En el anexo 1, se puede encontrar una explicación acerca de los diferentes elementos que componen un sistema de frenado. También se encuentran explicados los dos tipos de frenos mas comunes, freno mediante disco o mediante tambor.

El presente proyecto se centrará en explicar la normativa que debe cumplir un vehículo, en concreto un turismo M1; para que una vez instaladas las reformas correspondientes, sea homologado. Para ello el vehículo debe pasar una serie de ensayos dependiendo de la reforma instalada. En nuestro caso, el vehículo deberá cumplir con lo especificado en el ensayo tipo 0 del Reglamento 13H. Dicho ensayo se explica y desarrolla en el anexo 2.

En España, todo vehículo que circula debe estar homologado, dichas homologaciones están reguladas por el Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.

Lo que nos compete en este proyecto se basa en las reformas de los vehículos. Como se ha mencionado, el mundo de las reformas en los vehículos está legislado y todo vehículo reformado debe cumplir unos reglamentos y normas. En el caso de que un vehículo se haya reformado y no se haya procedido a la correspondiente homologación, podrá ser sancionado. Dicha sanción dependerá del tipo de reforma realizada en el vehículo.

El Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, es el encargado de regular la tramitación de todas las reformas de vehículos en España. En primer lugar, debemos conocer a que nos referimos con reforma de un vehículo; el propio Real Decreto nos define reforma como:

“Reforma de vehículo: Toda modificación, sustitución, actuación, incorporación o supresión efectuada en un vehículo después de su matriculación y en remolques ligeros después de ser autorizados a circular, que o bien cambia alguna de las características del mismo, o es susceptible de alterar los requisitos reglamentariamente aplicables contenidos en el Real Decreto 2028/1986, de 6 de junio. Este término incluye cualquier actuación que implique alguna modificación de los datos que figuran en la tarjeta de ITV del vehículo.”

Toda reforma deberá además cumplir el Manual de Reformas, en el cual aparecen todas y cada una de las posibles reformas que se pueden realizar en un vehículo, así como los reglamentos que debe cumplir cada reforma.

En este proyecto nos centraremos en las reformas referentes al sistema de frenado de un turismo. En concreto, en el vehículo en cuestión le han sido modificadas tanto las pinzas de freno como los discos.

2.-Objetivo

El principal objetivo de este proyecto se basa en el estudio de la modificación del sistema de frenado de un vehículo. También se llevará a cabo el análisis y los ensayos necesarios para confirmar que dicho vehículo cumple la normativa.

Las reformas a las que se ha sometido el vehículo se centran en el sistema de frenado de éste y su fin es el de obtener unas sensaciones de conducción más deportivas, así como mejorar las características mecánicas del mismo.

A lo largo del proyecto se estudiará, analizará y llevarán a cabo los ensayos necesarios de las modificaciones que se han llevado a cabo en el vehículo.

Una vez llevado a cabo el proyecto, realizados todos los ensayos y comprobando que el vehículo cumple con la normativa; el propietario del vehículo deberá pasar la Inspección Técnica de Vehículos (ITV) para demostrar que cumple el reglamento actual y poder circular con éste. Para pasar la ITV, se necesita que un laboratorio homologado corrobore que los cálculos están bien y realice los ensayos; sin ese certificado, no se logrará pasar la ITV.

3.- Alcance

En este trabajo se llevará a cabo el estudio acerca de la modificación de un Honda Civic SI. Dicho estudio se centra concretamente en la sustitución de las pinzas de freno y los discos. Para realizar este estudio, se aplicará el reglamento 13H, y se realizarán los ensayos necesarios según lo exigido en el reglamento.

Se han desarrollado los cálculos que demuestran que los frenos instalados en el Honda Civic, aparte de cumplir con la normativa vigente, poseen unas características superiores a los originalmente instalados. Para demostrar dichas características se llevara a cabo el cálculo del par de frenado tanto del sistema anterior como del actual y se llevara a cabo una comparativa entre ambos.

A parte de los cálculos realizados, se deberá proceder a la realización del ensayo tipo 0 sobre el vehículo en cuestión para demostrar que cumple con la normativa de frenado impuesta según el Reglamento 13-H. Una vez obtenidos los datos, se analizarán y obtendrán resultados, los cuales se emplearán para exponer una conclusión a cerca de la viabilidad de éste modelo de Honda Civic para circular por la vía pública.

4.-Memoria

4.1.- Identificación del vehículo

Tabla 1: Datos del vehículo

Marca	Honda
Modelo y versión	Civic SI
Denominación comercial	Civic SI
Contraseña de homologación	No dispone
Clasificación	1000
Categoría	M1
Fecha de 1ª matriculación	1 de Septiembre 1993

Fuente: Elaboración propia



4.2.- Datos generales

4.2.1.- Autor del proyecto

El autor del proyecto es Alejandro Lorente Corbacho, estudiante de ingeniería mecánica de la Universidad de Zaragoza.

- **e-mail:** 680838@unizar.es

4.3.- Normativa aplicable

Para llevar a cabo este Trabajo de Fin de Grado basado en la legalización y homologación del sistema de frenado del vehículo anteriormente expuesto, se ha tenido en cuenta la siguiente reglamentación:

- Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.
- Manual de Reformas de Vehículos, 3ª revisión de Septiembre de 2016, publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.
- Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.
- Orden de 13 de Octubre de 2004 del ministerio de Presidencia. Modifica el Anexo IX del Reglamento General de Vehículos RD 2822/1998 relativo a masas y dimensiones.
- Orden de 21 de enero de 2010. Modifica los Anexos II, IX, XI, XII y XVIII del Reglamento General de Vehículos RD 2822/1998.
- Corrección del Real Decreto 2140/1985. Corrección publicando los anexos del Real Decreto 2140/1985 omitidos en su publicación en el BOE. Incluye los modelos de fichas reducidas y tarjetas ITV.
- Directiva 70/156/CEE. Aproximación a legislaciones de países europeos para homologación de vehículos. Es derogada por la directiva 2007/46/CE.
- Directiva 2007/46/CE (Texto consolidado), por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos a motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco).
- 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.

Esta directiva es modificada por:

o Reglamento (CE) no 78/2009. Relativo a la homologación de vehículos en lo que se refiere a la protección de los peatones y otros usuarios vulnerables de la vía.

o Reglamento (CE) no 595/2009 relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) no 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE.

o Reglamento (CE) no 661/2009 Relativo a los requisitos de homologación de tipo referentes a la seguridad general de los vehículos a motor, sus remolques y sistemas, componentes y unidades técnicas independientes a ellos destinados.

o Reglamento (CE) no 371/2010 que sustituye los anexos V, X, XV y XVI de la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco).

o Reglamento (CE) no 678/2011 que sustituye el anexo II y modifica los anexos IV, IX y XI de la Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco).

o Real Decreto 2028/1986. Normas para aplicación de Directivas CEE relativas a homologación de tipo de vehículos.

o Orden ITC /3124/2010, de 26 de Noviembre. Actualización de los anexos I y II del RD 2028/1986.

o Directiva 2003/102/CE. Relativa a la protección de los peatones en caso de colisión y por la que se modifica la directiva 70/156/CEE. Derogada por el Reglamento (CE) nº 78/2009.

- Manual de procedimiento de Inspección Técnica de Vehículos de las ITV (Versión 7.2.2 de 1 de febrero 2018). Publicado por MITyC.

- Real Decreto 711/2006. Modificación del Real Decreto sobre inspección técnica de vehículos.

Por otro lado, teniendo en cuenta el tipo de reformas a realizar y de los sistemas y los componentes del vehículo que son afectados, es de aplicación el cumplimiento de la siguiente normativa específica en relación con los actos reglamentarios (AR) que son afectados por cada reforma a realizar en el vehículo. Acudimos al manual de reformas de vehículos y localizamos en el apartado 7 en lo referente a los frenos:

El código de reforma que debe cumplir el vehículo es el **7.1**: “Modificación de las características del sistema de frenado o de alguno de sus componentes.”

Tabla 2: Actos reglamentarios del C.R-7.1

Actos reglamentarios de obligado cumplimiento C.R- 7.1		
Sistema afectado	Referencia	Aplicable a:
		M₁
Mecanismos de dirección	70/311/CEE	(1)
Frenado	71/320/CEE	(1)
Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	72/245/CEE	(2)
Acondicionamiento interior	74/60/CEE	(2)

(1) El Acto Reglamentario (AR) se aplica en su última actualización en vigor, a fecha de tramitación de la reforma.

(2) El AR se aplica en la actualización en vigor en la fecha de la primera matriculación del vehículo, si la homologación del mismo exige al AR incluido en la tabla. En caso que el AR no fuera exigido para la homologación del vehículo en la fecha de su primera matriculación, se deberá aplicar al menos el AR en la primera versión incluida en el Real decreto 2028/1986, de 6 de junio, como obligatoria.

(-) El AR no es aplicable.

4.4.- Descripción y alcance de la reforma

4.4.1.- Descripción general de la reforma

En nuestro caso, la reforma realizada en el vehículo, se centra en el sistema de frenado de un turismo categoría M1. Para conocer la normativa a cumplir en esta reforma, debemos acudir al Manual de reformas de vehículos. Este manual está publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, emplearemos la 3ª revisión de Septiembre de 2016.

Dentro de este manual, nuestro vehículo está clasificado como:

Categoría M1: Vehículo a motor destinado al transporte de personas que tenga por lo menos 4 ruedas, o tres ruedas y un peso máximo superior a 1 tonelada; que tenga además del asiento del conductor, ocho plazas sentadas como máximo.

Como se ha mencionado en el apartado *Normativa aplicable*, la reforma debe cumplir el código de reforma 7.1.: “Modificación de las características del sistema de frenado o de alguno de sus componentes.”, el cual expondremos y desarrollaremos más adelante.

4.4.2.- Detalles de la reforma

El vehículo de estudio posee un sistema de freno basado en frenos de disco. El eje delantero ha sido modificado instalando nuevos discos y pinzas de freno. En el trasero se mantienen los discos originales. En el anexo 1 se expondrá y definirá un sistema de frenado así como sus diferentes versiones.

La reforma instalada en el vehículo se centra en la modificación de los discos de freno, de las pinzas y las pastillas:

4.4.2.1.- Cambio de discos de freno

Se han sustituido los discos delanteros originales de 242 mm ventilados por unos discos de 282mm ventilados; aparte de ser de mayor diámetro, también aumenta el espesor de éstos, los discos actualmente instalados tienen 25mm de espesor. La referencia de estos discos de freno es:

Discos MG: GBD 90852 – SDB 0004 40

El material de estos discos es acero y podemos observar los discos instalados en la siguiente imagen:



4.4.2.2.- Cambio de pinzas de freno

Se han sustituido las pinzas de freno por unas pinzas Honda de doble pistón. La referencia de estas pinzas es: **17CL15VN** y podemos verla en la siguiente imagen:



4.4.2.3.- Cambio de pastillas de freno

Debido al cambio de la pinza de freno, se han instalado nuevas pastillas de freno de 148mm de largo por 59mm de alto.

4.4.3.- Características del vehículos antes y después de la reforma

Tabla 3: Detalles de la reforma

DATOS	ANTES DE LA REFORMA	DESPUES DE LA REFORMA
Marca	HONDA	
Modelo y versión	CIVIC SI	
Denominación comercial	CIVIC SI	
Categoría del vehículo	M1	
Clasificación del vehículo	1000 TURISMO	
<u>Masas y dimensiones</u>		
Distancia entre ejes	2570	2570
Vías de los ejes (1 ^{er} eje/ 2º eje)	1475/ 1465	1475/ 1465

Longitud	4080	4080
Anchura	1695	1695
Altura	1375	1375
Voladizo trasero	710	710
Masa del vehículo en orden de marcha	1165	1165
Masa máxima en carga técnicamente admisible (MMTA)	1480	1480
Masa máxima en carga admisible prevista para matriculación/circulación (MMA)	1480	1480
Masa máxima en carga técnicamente admisible en cada eje (MMTA 1º, 2º, ...)	780/ 725	780/ 725
Disco de freno	242mm	282mm
Nº de ejes y ruedas	4- 185/60 R16	4- 195/45 R16 84V
Llantas	5Jx14 ET45	6.5Jx16 ET45

Fuente: Elaboración propia

5.- Cálculos justificativos

5.1.- Calculo de freno de disco

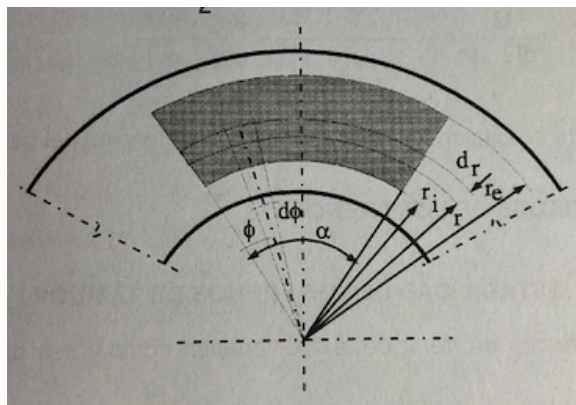
En este apartado se procederá a realizar el cálculo aproximado tanto del freno de disco antiguo que llevaba instalado el vehículo como el actual. Debido a la imposibilidad de conseguir ciertos datos necesarios para obtener los resultados exactos acerca del freno tanto antiguo como actual, se plantearán hipótesis de acuerdo a las ecuaciones y, en la posterior conclusión, se explicarán las decisiones adoptadas para determinar si el freno instalado es adecuado. Se realizará el calculo sobre el eje delantero debido a que es el único que ha sufrido modificación.

Para llevar a cabo el cálculo de ambos frenos, se considerará como hipótesis de cálculo que la presión P ejercida entre las pastillas de freno y el disco es constante a lo largo de toda la superficie de fricción.

Otro dato necesario para completar el cálculo del freno, será la presión hidráulica P_H que ejerce el pistón; la cual depende de la presión que ejerce el conductor sobre el pedal de freno en cada momento. Dicha presión sobre el pedal se distribuye uniformemente por todo el circuito de frenos, de manera que en cada pinza poseerás una presión diferente dependiendo el reparto de frenada que se tenga. Dicho reparto de frenada se explica en el anexo 4.

A continuación, aparecerá una leyenda que será de gran ayuda posteriormente al llevar a cabo los cálculos:

R_i	Radio interno de la pastilla
R_e	Radio externo de la pastilla
P_H	Presión del cilindro hidráulico
A_{pastilla}	Área de las pastillas
α	Angulo que abarca la pastilla
φ	Coefficiente de rozamiento
T	Fuerza que actúa sobre las pastillas
P	Presión entre pastillas y disco
M	Par de frenada
r_d	Radio equivalente



5.1.1.- Cálculo de freno de disco antiguo

Para llevar a cabo el cálculo del freno, antes se deben conocer los parámetros y ecuaciones que se emplearán.

En el anexo 1, apartado 3.4, se exponen las ecuaciones que se emplearán para llevar a cabo el cálculo; en referencia a los parámetros empleados, se emplearán los datos de la siguiente tabla:

Tabla 4: Datos del disco de freno antes de reformar

Datos del disco antes de la reforma	
Ri(mm)	80
Re(mm)	130
A _{pastillas} (cm ²)	65
P (N/mm ²)	P ₁

El valor de la presión, se calcula posteriormente teniendo en cuenta la normativa, se emplearán 50Kg de fuerza que vendrán aplicados a través del pedal y pasando por la amplificación del servofreno.

A todos los datos obtenidos para este freno antiguo, se le otorgará el subíndice 1 para diferenciarlos del disco actual, que llevará el subíndice 2. Esto será útil a la hora de exponer las conclusiones.

Para comprobar el disco de freno, se calcularán los pares de frenada que posee cada uno y se compararán:

$$M_1 = 2 * \frac{\alpha_1 * \varphi * P_1 * (r_e^3 - r_i^3)}{3} = 2 * \frac{\alpha_1 * \varphi * P_1 * (130^3 - 80^3)}{3}$$

$$M_1 = 112333 * \alpha_1 * \varphi * P_1 [Nmm]$$

5.1.2.- Cálculo de freno de disco actual

Ahora se procederá a llevar a cabo el cálculo del par de frenada del disco actual, después de la reforma. Para ello, en primer lugar se exponen los datos necesarios para dicho cálculo:

Tabla 5: Datos del disco de freno después de reformar

Datos del disco después de la reforma	
Ri(mm)	70
Re(mm)	145
A _{pastillas} (cm ²)	84
P (N/mm ²)	P ₂

Como ya se ha mencionado anteriormente, los datos obtenidos de este disco llevarán el subíndice 2.

El par de frenada que este disco será capaz de alcanzar es:

$$M_2 = 2 * \frac{\alpha_2 * \varphi * P_2 * (r_e^3 - r_i^3)}{3} = 2 * \frac{\alpha_2 * \varphi * P_2 * (145^3 - 70^3)}{3}$$

$$M_2 = 1803750 * \alpha_2 * \varphi * P_2 \text{ [Nmm]}$$

5.1.3.- Conclusión

Para llegar a la conclusión, se debe tener en cuenta que:

→ Tanto α_1 como α_2 se desconocen, pero podemos suponer que la nueva pastilla tendrá un ángulo mayor debido a que es más grande que la antigua. Con lo cual $\alpha_2 > \alpha_1$.

→ También desconocemos el valor de φ pero sabemos que ambas pastillas están fabricadas con el mismo material, con lo cual el valor del coeficiente de rozamiento es el mismo para ambos.

→ Las presiones serán calculadas posteriormente.

Con todos estos datos, se puede empezar a concluir que el par de frenada M_2 será mayor que el par de frenada que generaba el sistema antiguo. Pero habrá que ver la presión que llega desde el pedal.

5.2.- Curvas de equiadherencia

En este apartado se procederá a realizar y analizar los cálculos necesarios para obtener las curvas de equiadherencia del vehículo.

En primer lugar, se expondrán los datos del vehículo necesarios para la obtención de estas curvas. En el anexo 3 se ha llevado a cabo una explicación teórica de las curvas de equiadherencia, así como la metodología necesaria para interpretar dichas curvas. En la siguiente tabla se encuentran los datos necesarios para llevar a cabo el cálculo:

Tabla 6: Datos necesarios para el cálculo de las curvas de equiadherencia

R	Radio de la rueda	291 mm
Wvacio	Peso del vehículo en vacío	1090kg
Wcarga	Peso del vehículo en carga	1480kg
h	Altura del centro de gravedad	500mm
L	Batalla del vehículo	2570mm
b	Distancia del centro de gravedad al eje trasero	1820mm
a	Distancia del centro de gravedad al eje delantero	750mm
μ	Coeficiente de adherencia	

Para obtener las curvas, debemos calcular los pares máximos de frenada del vehículo tanto en CARGA como EN VACIO. Para ello, se emplearán las formulas del anexo 3 de N_{tm} y N_{dm} y calcularán para cada valor de μ , un valor del par de frenada.

Para calcular dichas gráficas, se empleará el programa Excel; generaremos unas tablas en las cuales obtendremos los valores de N_{dm} y N_{tm} para cada valor de μ :

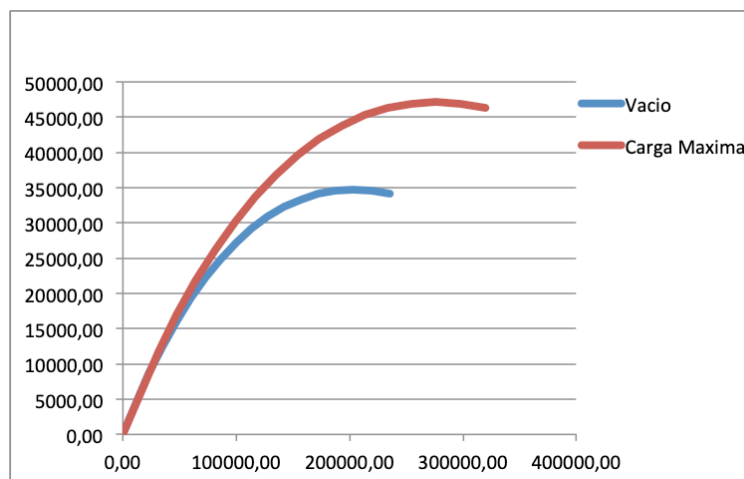
$$N_{dm} = R * \left(\frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * b}{l} * \mu \right)$$

$$N_{tm} = R * \left(-\frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * a}{l} * \mu \right)$$

μ	NdmVACIO	NtmVACIO	μ	NdmCARGA	NtmCARGA
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,1	23079,58	8639,42	0,1	31337,42	11730,58
0,15	35082,20	12496,30	0,15	47634,55	16967,45
0,2	47393,37	16044,63	0,2	64350,63	21785,37
0,25	60013,09	19284,41	0,25	81485,66	26184,34
0,3	72941,36	22215,64	0,3	99039,64	30164,36
0,35	86178,18	24838,32	0,35	117012,57	33725,43
0,4	99723,55	27152,45	0,4	135404,45	36867,55
0,45	113577,47	29158,03	0,45	154215,28	39590,72
0,5	127739,94	30855,06	0,5	173445,06	41894,94
0,55	142210,96	32243,54	0,55	193093,79	43780,21
0,6	156990,54	33323,46	0,6	213161,46	45246,54

0,65	172078,66	34094,84	0,65	233648,09	46293,91
0,7	187475,33	34557,67	0,7	254553,67	46922,33
0,75	203180,56	34711,94	0,75	275878,19	47131,81
0,8	219194,33	34557,67	0,8	297621,67	46922,33
0,85	235516,66	34094,84	0,85	319784,09	46293,91

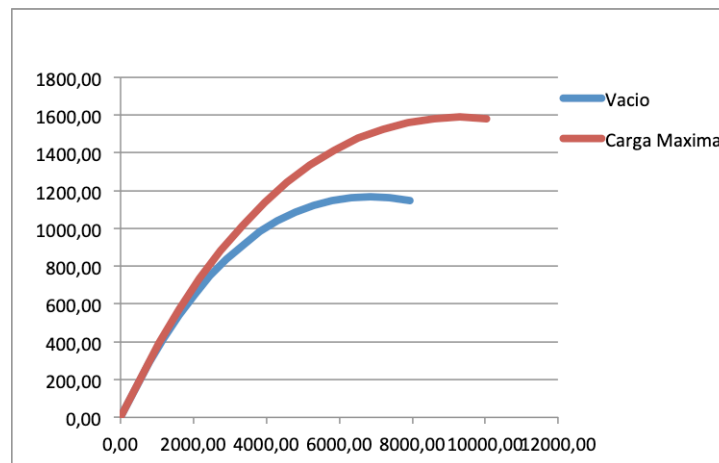
Ahora, se grafica esta tabla para observar como son las curvas de equiadherencia de nuestro vehículo:



Otra manera de graficar estas curvas de equiadherencia es mediante el cálculo de la fuerza de frenado delantera y trasera, de modo que ahora se llevará a cabo la obtención de dichas curvas mediante las fuerzas de frenado. Para ello, se emplearán los mismos datos y se obtendrán unos valores de F_{dm} y F_{tm} :

μ	$F_{dm}VACIO$	$F_{tm}VACIO$	μ	$F_{dm}CARGA$	$F_{tm}CARGA$
0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
0,1	778,04	291,25	1	1056,43	395,45
0,15	1182,67	421,27	2	1605,82	572,00
0,2	1597,69	540,89	3	2169,35	734,41
0,25	2023,12	650,10	4	2746,99	882,71
0,3	2458,95	748,92	5	3338,76	1016,88
0,35	2905,18	837,33	6	3944,65	1136,93
0,4	3361,81	915,35	7	4564,67	1242,85
0,45	3828,85	982,96	8	5198,80	1334,66
0,5	4306,28	1040,17	9	5847,07	1412,33
0,55	4794,12	1086,97	10	6509,45	1475,89
0,6	5292,36	1123,38	11	7185,96	1525,32
0,65	5801,00	1149,38	12	7876,59	1560,63
0,7	6320,04	1164,99	13	8581,35	1581,81
0,75	6849,49	1170,19	14	9300,22	1588,88
0,8	7389,33	1164,99	15	10033,23	1581,81
0,85	7939,58	1149,38	16	10780,35	1560,63

De esta manera, se obtiene una relación entre la fuerza de frenado delantera y trasera. La representación de F_t / F_d que se obtiene es:



5.3.- Curvas de isodeceleración

Para obtener estas curvas, debemos partir de las ecuaciones empleadas para calcular las curvas de equiadherencia. Dependiendo del estado del terreno, el valor de μ , varía con lo que para cada valor de μ , obtendremos una curva de isodeceleración. Se partirá de la ecuación:

$$F_{dm} + F_{tm} = m * \mu = cte$$

Para llevar a cabo los cálculos, tomaremos valores de F_{tm} y obtendremos su correspondiente valor de F_{dm} para posteriormente representarlos junto a las curvas de equiadherencia y de esa manera conocer cuál sería la fuerza máxima de frenado tanto delantera como trasera que podríamos lograr con nuestro vehículo dependiendo del terreno en el que nos encontremos.

Como ejemplo, se procederá al cálculo de las curvas para valores de μ señalados en negrita en la siguiente tabla:

Tabla 7: Coeficientes de adherencia según el tipo y estado del suelo

Tipo de suelo	Estado	Neumáticos	
		Nuevos	Usados
Asfalto Medio	Helado	0.1	0.1
	Embarrado	0.15	0.1
	Mojado	0.65	0.55
	Seco	0.8	0.8
Asfalto compacto	Mojado	0.65	0.3
	Seco	0.6	0.6
Hormigón de cemento	Mojado	0.7	0.5
	Seco	1	1

Los valores escogidos son los mas representativos, los cuales podemos encontrar con mayor facilidad en la vida real:

- Asfalto medio helado: $\mu = 0.1$
- Asfalto compacto mojado: $\mu = 0.3$
- Asfalto medio mojado: $\mu = 0.65$
- Asfalto medio seco: $\mu = 0.8$

5.3.1.- Curvas de isodeceleración “en vacío”

Para llevar a cabo el cálculo de dichas curvas se empleará la ecuación anterior y como valor de m (masa del vehículo en vacío) se empleará 1090Kg.

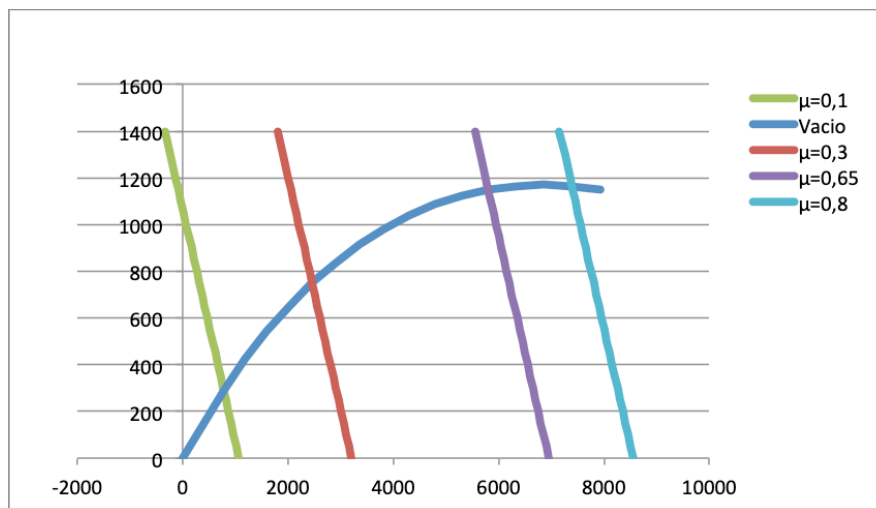
$$F_{dm} + F_{tm} = 1090 * 9.81 * \mu = cte$$

Para llevar a cabo el cálculo, se tomarán valores de F_{tm} desde 0 a 1200, por ejemplo y se obtendrá el valor de F_{dm} correspondiente dependiendo del valor de μ :

Ft	Fd($\mu=0,1$)	Fd($\mu=0,3$)	Fd($\mu=0,65$)	Fd($\mu=0,8$)
1400	-330,71	1807,87	5550,385	7154,32
1300	-230,71	1907,87	5650,385	7254,32
1200	-130,71	2007,87	5750,385	7354,32
1150	-80,71	2057,87	5800,385	7404,32
1100	-30,71	2107,87	5850,385	7454,32
1050	19,29	2157,87	5900,385	7504,32
1000	69,29	2207,87	5950,385	7554,32
950	119,29	2257,87	6000,385	7604,32
900	169,29	2307,87	6050,385	7654,32
850	219,29	2357,87	6100,385	7704,32
800	269,29	2407,87	6150,385	7754,32
750	319,29	2457,87	6200,385	7804,32
700	369,29	2507,87	6250,385	7854,32
650	419,29	2557,87	6300,385	7904,32
600	469,29	2607,87	6350,385	7954,32
550	519,29	2657,87	6400,385	8004,32
500	569,29	2707,87	6450,385	8054,32
450	619,29	2757,87	6500,385	8104,32
400	669,29	2807,87	6550,385	8154,32
350	719,29	2857,87	6600,385	8204,32
300	769,29	2907,87	6650,385	8254,32
250	819,29	2957,87	6700,385	8304,32
200	869,29	3007,87	6750,385	8354,32
150	919,29	3057,87	6800,385	8404,32
100	969,29	3107,87	6850,385	8454,32

50	1019,29	3157,87	6900,385	8504,32
0	1069,29	3207,87	6950,385	8554,32

Ahora, para obtener una mejor visualización, se procederá a la representación gráfica junto a la curva de equiaderencia en vacío:



Como se puede observar en la imagen anterior, el terreno nos limita las fuerzas de frenado, por ejemplo, para un valor de μ de 0.65 obtendremos unas fuerzas de frenado máximas de:

$$F_{ft} = 1150 \text{ N}$$

$$F_{fd} = 5800 \text{ N}$$

5.3.2.- Curvas de isodeceleración “en carga máxima”

En este caso, se empleará una masa del vehículo de 1480Kg.

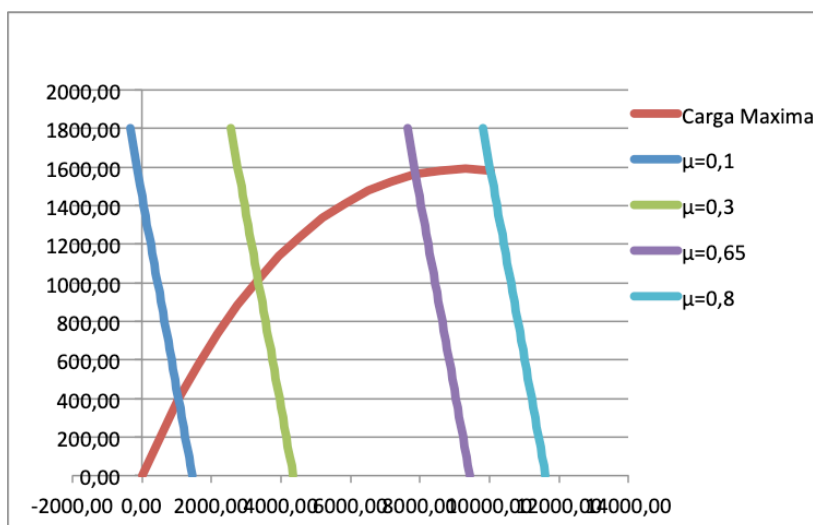
$$F_{dm} + F_{tm} = 1480 * 9.81 * \mu = cte$$

Para llevar a cabo el cálculo, se tomarán valores de F_{tm} desde 0 a 1800, por ejemplo y se obtendrá el valor de F_{dm} correspondiente dependiendo del valor de μ :

Ft	Fd($\mu=0,1$)	Fd($\mu=0,3$)	Fd($\mu=0,65$)	Fd($\mu=0,8$)
1800	-348,12	2555,64	7637,22	9815,04
1700	-248,12	2655,64	7737,22	9915,04
1600	-148,12	2755,64	7837,22	10015,04
1500	-48,12	2855,64	7937,22	10115,04
1450	1,88	2905,64	7987,22	10165,04
1400	51,88	2955,64	8037,22	10215,04
1350	101,88	3005,64	8087,22	10265,04
1300	151,88	3055,64	8137,22	10315,04
1250	201,88	3105,64	8187,22	10365,04

1200	251,88	3155,64	8237,22	10415,04
1150	301,88	3205,64	8287,22	10465,04
1100	351,88	3255,64	8337,22	10515,04
1050	401,88	3305,64	8387,22	10565,04
1000	451,88	3355,64	8437,22	10615,04
950	501,88	3405,64	8487,22	10665,04
900	551,88	3455,64	8537,22	10715,04
850	601,88	3505,64	8587,22	10765,04
800	651,88	3555,64	8637,22	10815,04
750	701,88	3605,64	8687,22	10865,04
700	751,88	3655,64	8737,22	10915,04
650	801,88	3705,64	8787,22	10965,04
600	851,88	3755,64	8837,22	11015,04
550	901,88	3805,64	8887,22	11065,04
500	951,88	3855,64	8937,22	11115,04
450	1001,88	3905,64	8987,22	11165,04
400	1051,88	3955,64	9037,22	11215,04
350	1101,88	4005,64	9087,22	11265,04
300	1151,88	4055,64	9137,22	11315,04
250	1201,88	4105,64	9187,22	11365,04
200	1251,88	4155,64	9237,22	11415,04
150	1301,88	4205,64	9287,22	11465,04
100	1351,88	4255,64	9337,22	11515,04
50	1401,88	4305,64	9387,22	11565,04
0	1451,88	4355,64	9437,22	11615,04

Se procederá a la representación gráfica junto a la curva de equiadherencia en estado de carga máxima del vehículo:



Como es lógico, en carga máxima, el coche tiene mayor dificultad en la frenada con lo cual sus fuerzas de frenado son mayores que en vacío.

5.4.- Determinación del sistema de freno completo

Para el desarrollo del siguiente apartado, es necesario emplear el anexo 4 en el cual se explica con mas detalle. En este apartado, solo se llevará a cabo el calculo del sistema de frenado actual.

A continuación se resumirá en una tabla los datos que se emplearan para calcular el sistema de freno:

Datos del freno de disco	
Ri(mm)	70
Re(mm)	145

Para calcular la superficie del bombín, necesitaremos calcular el radio de acción, que tomaremos el valor del radio equivalente, es decir, $R_d = R_t$ y el valor del par de frenada máximo tanto delantero como trasero. Para obtenerlo acudiremos a las curvas de equiadherencia previamente calculadas y tomaremos dichos valores para un coeficiente de adherencia de 0.85.

→ 1° Calculamos r_d :

$$r_d = \frac{2 * (r_e^3 - r_i^3)}{3 * (r_e^2 - r_i^2)} = \frac{2 * (145^3 - 70^3)}{3 * (145^2 - 70^2)} = 111.86mm$$

→ 2° Tomamos los valores de N_{dm} y N_{tm} de las tablas de las curvas de equiadherencia calculadas previamente:

$$N_{dm} = 319784.09 \text{ Nmm}$$

$$N_{tm} = 46293.91 \text{ Nmm}$$

→ 3° Resolvemos las ecuaciones del anexo 4 y obtenemos las dimensiones del bombín:

Para el eje delantero:

$$S_b = \frac{N_{dm}}{R_d * 4 * 0.36 * 80} = \frac{319784.09}{111.86 * 4 * 0.36 * 80 * 10^5} = 0.000248m^2$$

$$S_b = 0.000248m^2 = 248.16 \text{ mm}^2$$

$$d_b = \sqrt{\frac{S_b * 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{248.16 * 4}{\pi}} = 17.77mm$$

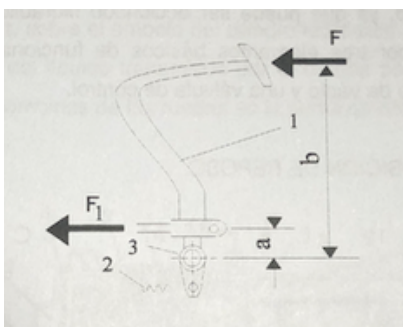
Ahora, una vez conocido el diámetro del bombín, podemos calcular la presión P que ejercerá freno. Obtenemos del apartado 5.1.2, el resultado del par máximo que generará el nuevo disco:

$$M_2 = 1803750 * \alpha_2 * \varphi * P_2 [Nmm]$$

y con la ecuación:

$$P = \frac{\pi \cdot d_b^2 \cdot P_h}{2 \cdot \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2)} = \frac{\pi \cdot 17.77^2 \cdot 80}{2 \cdot \pi \cdot (145^2 - 70^2)} = 0.78bar$$

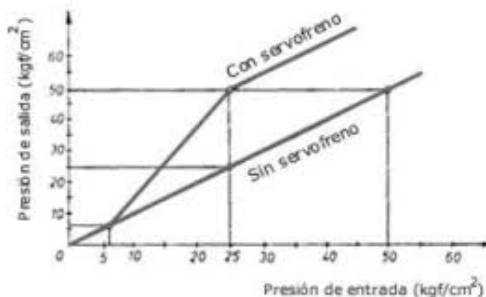
Para completar el calculo, habrá que avanzar desde la parte del pedal, es decir partiendo de la siguiente imagen:



El pedal, es el encargado de transmitir a través de una palanca, el esfuerzo que genera el conductor para actuar sobre el circuito de frenos. Según reglamento, la fuerza F no debe superar los 50daN y no debe ser menor de 6.5daN. Con lo cual, en ese rango de fuerzas, se generará una fuerza $F_1 = F \cdot b/a$, que transmitirá al resto del sistema de freno. Se tomarán unos valores de $b = 250mm$ y de $a = 50mm$, debido a que no se conocen, se supondrá una estimación para poder calcular F_1 . Se obtendrá pues un valor de:

$$F_1 = 2500N = 255Kg \text{ aprox.}$$

Tras el pedal, va colocado el servofreno, del cual no se tiene información pero se empleará la curva de un servofreno común para explicar su funcionamiento:



En el servofreno que se encuentra representado, multiplica la señal de salida de presión respecto a la de entrada. Si se obtuviese por ejemplo, una presión de entrada a través del pedal de 20 kg/cm^2 , el servofreno la multiplicaría para obtener una presión a la

salida de unos 40 kg/cm², es decir, se tendría un servofreno que multiplica la presión al doble.

5.5.- Realización del ensayo tipo 0 según reglamento 13-H

A continuación se expondrá el procedimiento llevado a cabo para realizar dicho ensayo.

Para realizar el ensayo se debe disponer de un elemento capaz de medir la distancia, es decir, un GPS; y un instrumento para controlar el tiempo que le cuesta al vehículo pasar de una velocidad a una inferior. Posteriormente se explica este rango de velocidades tomado.

Como se menciona en el anexo 2, el ensayo se basa en el cálculo de eficacia de frenado del vehículo y dicho reglamento solo se aplica a vehículos de categoría M1("Vehículo para transporte de pasajeros y que no contenga más de 8 asientos además del asiento del conductor") y N1("Vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo que no exceda las 3.5 toneladas métricas"). Esta eficacia de frenado previamente mencionada se calculará mediante el cálculo de la distancia de frenado y la deceleración media estabilizada.

Distancia de frenado: distancia recorrida por el vehículo desde el momento en que el conductor accione el sistema de freno hasta el momento en que el vehículo se detenga. La velocidad inicial será la velocidad en el momento en el que el conductor accione el sistema de freno. Esta velocidad inicial no debe ser inferior al 98% de la velocidad exigida en el ensayo considerado.

A la hora de llevar a cabo el ensayo, el reglamento impone una serie de condiciones a cerca del estado del pavimento, temperatura de los frenos, velocidades, etc. las cuales deben cumplirse.

En la siguiente tabla se encuentran los rangos de distancia de frenado y deceleración media que tiene que cumplir el vehículo:

Tabla 8: Condiciones de eficacia según Reglamento 13H

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

5.5.1.- Realización ensayo tipo 0 con motor desembragado

Para la realización de este ensayo se tomará una velocidad inicial de 100 Km/h, marcada por el reglamento.

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_e^2}{25,92 \cdot (s_e - s_b)}$$

Tabla 9: Pruebas realizadas sobre el vehículo

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
v_o [Km/h]	100	100	100	100
$v_b=0.8 \cdot v_o$ [Km/h]	80	80	80	80
$v_e=0.1 \cdot v_o$ [Km/h]	10	10	10	10
s_b (Distancia recorrida entre v_o y v_b) [m]	6.6	7.05	6.93	7.34
s_e (Distancia recorrida entre v_o y v_e) [m]	26.2	29.35	27.1	31.2
d_m [m/s ²]	12.04	10.89	12.05	10.186
s (distancia de frenado) [m]	28.1	30.6	29.4	34.3

En las pruebas llevadas a cabo, el vehículo bloqueó las ruedas delanteras en la prueba 2(bloqueo de una de las ruedas del eje delantero) y la prueba 4(bloqueo de ambas ruedas delanteras), con lo cual esas no las consideraremos fiables y deberemos llevar a cabo el ensayo de la secuencia de bloqueo de la rueda. El bloqueo de las ruedas se debe a que el coche carece de sistema ABS, con lo cual se debe acudir al anexo 5 del Reglamento 13-H y comprobar que cumple.

Para que el vehículo cumpla el ensayo tipo 0, en referencia a la eficacia, debe conseguir:

$$d_m \geq 6.43 \text{ m/s}^2$$

$$s \leq 0.1 \cdot 80 + 0.006 \cdot 80 \leq 46.4 \text{ m}$$

Como se observa, la deceleración media estabilizada debe ser mayor de 6.43 y en todas las pruebas realizadas, cumple con la normativa. Además también se cumple con la distancia de frenado s , la cual debe ser menor de 46.4m. y la mas alta es la obtenida en la ultima prueba debido al bloqueo de las ruedas, pero también cumple con la norma.

Ahora se comprobará además si el vehículo cumple la distribución de frenada sobre los ejes, se empleará el anexo 5 del Reglamento.

Para comenzar, se calculará la adherencia que necesita cada eje:

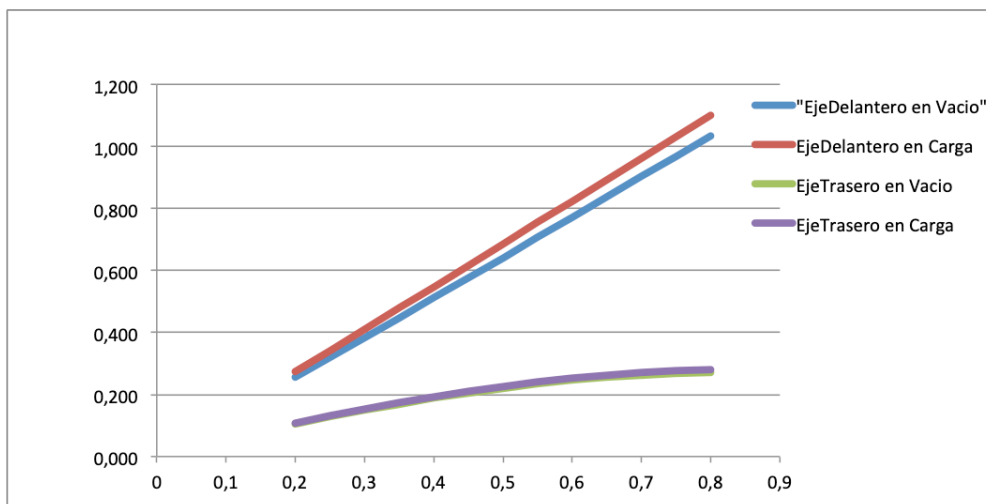
$$f_1 = \frac{T_1}{N_1} = \frac{T_1}{P_1 + z \cdot \frac{h}{E} \cdot P \cdot g}$$

$$f_2 = \frac{T_2}{N_2} = \frac{T_2}{P_2 + z \cdot \frac{h}{E} \cdot P \cdot g}$$

Para resolverlo, se generará una tabla en la cual aparecerán los datos empleados para resolver las ecuaciones y a continuación, la tabla de los diferentes valores de f_1 y f_2 según z . Para obtener estos valores de f_i , hemos dado valores a z desde 0.2 a 0.8 según marca el reglamento.

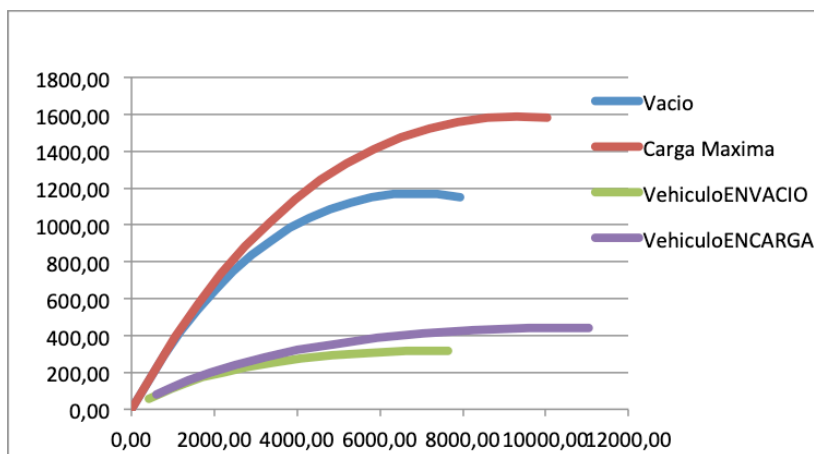
T1		T2			
FdmVACIO	FdmCARGA	FtmVACIO	FtmCARGA		
1597,694	2169,346	540,886	734,414		
2023,122	2746,991	650,103	882,709		
2458,951	3338,759	748,919	1016,881		
2905,182	3944,651	837,333	1136,929		
3361,814	4564,666	915,346	1242,854		
3828,849	5198,804	982,956	1334,656		
4306,285	5847,065	1040,165	1412,335		
4794,122	6509,450	1086,973	1475,890		
5292,361	7185,959	1123,379	1525,321		
5801,002	7876,590	1149,383	1560,630		
6320,045	8581,345	1164,985	1581,815		
6849,489	9300,224	1170,186	1588,876		
7389,335	10033,225	1164,985	1581,815		
k	z	f1VACIO	f1CARGA	f2VACIO	f2CARGA
0,200	0,100	0,255	0,273	0,105	0,108
0,250	0,135	0,319	0,342	0,128	0,131
0,300	0,170	0,383	0,411	0,149	0,153
0,350	0,205	0,448	0,479	0,170	0,174
0,400	0,240	0,512	0,548	0,188	0,193
0,450	0,275	0,577	0,617	0,205	0,211
0,500	0,310	0,642	0,686	0,220	0,226
0,550	0,345	0,707	0,755	0,234	0,240
0,600	0,380	0,772	0,824	0,246	0,253
0,650	0,415	0,838	0,893	0,255	0,263
0,700	0,450	0,903	0,962	0,263	0,271
0,750	0,485	0,969	1,031	0,269	0,277
0,800	0,520	1,034	1,100	0,272	0,280

Para observar mejor los resultados obtenidos, se graficarán los valores de f_i frente a k :



Según el reglamento, la curva de utilización de la adherencia del eje trasero no estará situada por encima de la del eje delantero. Y como se puede observar, en nuestro vehículo cumple, la adherencia requerida por el eje trasero no supera en ningún punto a la del eje delantero en el rango de 0.2 a 0.8 que establece el reglamento.

Ahora, se generará una grafica en la que se observarán las curvas de equiadherencia del vehículo, junto con las curvas de frenado generadas:



Como se puede observar, el vehículo no tendrá problemas de frenado pero se podría mejorar aun mas su sistema de freno debido a que el área que queda entre las curvas de equiadherencia y las del vehículo debería ser lo mínimo posible. Si las curvas del freno del vehículo hubiesen salido por encima de las de equiadherencia, el vehículo no seria viable, la modificación hubiese hecho a vehículo mas inestable e inseguro.

5.5.2.- Realización ensayo tipo 0 con motor embragado

Para la realización de este ensayo, según reglamento habría que emplear una velocidad inicial de $0.8 \cdot v_{\max} < 160 \text{ km/h}$. Pero no se ha podido llevar a cabo el ensayo porque la velocidad requerida es demasiado elevada para realizarlo en la vía pública.

La manera de realizar el ensayo sería idéntica al anterior pero con el motor embragado y la marcha mas larga engranada. Se alcanzaría la velocidad adecuada y

posteriormente se ejerce presión sobre el freno y se toman datos hasta alcanzar la velocidad mínima que marca el ensayo. Con los datos tomados, se calcula la deceleración media y se obtiene la distancia y se comprueba que cumple con la tabla de eficacias.

6.- Conclusión final del proyecto

Para exponer las conclusiones finales del proyecto, se dividirán en el apartados, en los cuales se explicará el porque se ha llegado a esa conclusión y que datos se han tomado para ello.

En primer lugar, se procedió al calculo del disco de freno y a la obtención de los pares máximos de frenada que podrían alcanzar según sus especificaciones y sus datos. Para poder comparar, se realizo el calculo tanto del par de frenada que se conseguía con el disco antiguo y con el nuevo; pero no todos los datos son de fácil acceso, como por ejemplo el ángulo que abarcan las pastillas de freno, el coeficiente de fricción de éstas(el cual supondremos 0.36 en cálculos posteriores, debido a que es el mas común) y la presión que ejercen las pinzas ya que esta presión varia en función de la fuerza que se ejerce sobre el pedal, y de las características del servofreno del sistema de frenado, las cuales no conocemos. Según reglamento, fuerza máxima que se puede ejercer con el pie sobre el pedal para obtener las máxima fuerza de frenado es de 50 daN.

Se puede concluir que el par de frenada del disco nuevo, debido a que el tamaño de las pastillas es mayor, y suponiendo que las pastillas están fabricadas del mismo material, el nuevo disco tendrá un par de frenada superior al del disco viejo.

En segundo lugar, se llevaron a cabo las curvas de equiadherencia e isodeceleración del vehículo, las cuales nos sirven para entender como se comportara el vehículo, además de conocer cuales son los pares o fuerzas máximos de frenada dependiendo del terreno por el que circule.

Y por ultimo, se llevo a cabo la realización del ensayo tipo 0 sobre el vehículo en cuestión. Aprovechando que al vehículo le fue realizado también dicho ensayo para proceder a su homologación, en este trabajo se realizará una comparación acerca de cómo se llevó a cabo dicho ensayo y como se debería haber realizado.

Según los resultados obtenidos en el ensayo, el vehículo es apto para circular, como se puede observar en el certificado de taller del anexo 5. Pero los ensayos llevados a cabo sobre el vehículo, no cumplen con la normativa que impone el Reglamento 13-H, es decir, para que el vehículo obtuviese el certificado, debe cumplir todos los requisitos del ensayo tipo 0. Y para la obtención de ese certificado solo se llevo a cabo la medida de la distancia de frenado.

En la realización de mi ensayo tipo 0, no solo se ha llevado a cabo la obtención de esa medida, también se ha comprobado que el vehículo es estable en la frenada por ejes, es decir que la adherencia del eje delantero es superior a la del trasero, se tuvo en cuenta que la temperatura de los frenos estuviese entre los 65 y los 100°C, etc.

Dado que todos los parámetros que se han obtenido del vehículo, si que puedo afirmar que el vehículo cumple con todas y cada una de las partes del reglamento 13-H y podría ser homologado.

7.- Bibliografía

→ Metodología y herramienta de cálculo del sistema de frenos de un turismo. Autores: Santiago Baselga, Mario Maza y Gabriel Catalán año 2000

→ Real Decreto 866/2010, de 2 de julio, por el que se regula la tramitación de las reformas de vehículos.

→ Manual de Reformas de Vehículos, 3ª revisión de Septiembre de 2016, publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

→ Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.

→ Real Decreto 750/2010, de 4 de junio, por el que se regulan los procedimientos de homologación de vehículos de motor y sus remolques, máquinas autopropulsadas o remolcadas, vehículos agrícolas, así como de sistemas, partes y piezas de dichos vehículos.

→ 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, fecha de entrada en vigor 17 de Marzo de 2010.

→ Trabajo final de Grado, Diseño, análisis y calculo de un sistema de frenado para automoción, Andrés León Ramalle, año 2014.

→ Trabajo final de Grado, Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos), José-Antonio Ortiz-Marzo, año 2018.

→ Sistema de frenado en el automóvil, Hugo L. Agüero Alva

→ Manual Toyota, Manual de entrenamiento, volumen 13, Sistema de frenos.

→ <http://www.teammmfactory.com/calculator/>

ANEXOS

Anexo 1.- Sistema de frenado

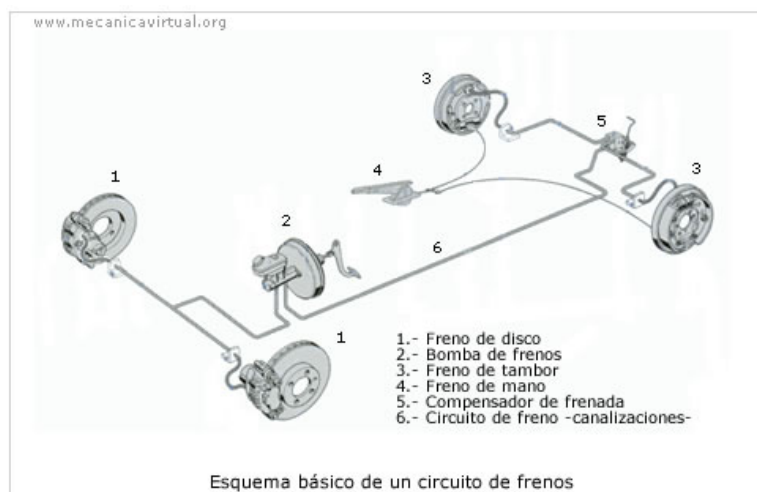
1.-Introduccion

El sistema de frenos de un vehículo, sin ninguna duda es el medio de seguridad vial mas importante, por esta razón las autoridades de los diferentes países crean normas y leyes que todos los vehículos deben cumplir. Estas normas se basan fundamentalmente en la distancia y estabilidad de los vehículos a la hora de detener el vehículo. Los fabricantes y desarrolladores de los automóviles centran gran parte de sus recursos en crear frenos cada vez mas seguros y duraderos.

Todo sistema de freno debe contar tanto con un freno de marcha como uno de estacionamiento.

-Freno de marcha: este tipo de sistema de freno puede ser manipulado por el conductor del vehículo, generalmente es el que accionamos mediante el pedal de freno y se emplea para disminuir la velocidad del vehículo o detenerlo y poder mantenerlo inmóvil. Este sistema por lo tanto es manual y debe accionarlo el conductor del vehículo mediante presión ejercida sobre el pedal situado en el habitáculo del vehículo. Dependiendo de dicha presión, el vehículo se detendrá en mas o menos tiempo, a mayor presión sobre el pedal de freno, mas acción se ejerce sobre el freno ergo el coche se detendrá antes.

-Freno de estacionamiento: este sistema de freno se encarga de mantener el vehículo detenido cuando éste está aparcado. Este sistema es lo que comúnmente conocemos como “Freno de mano” y se encarga de aplicar una fuerza de frenado constante suficientemente alta como para bloquear la rueda e impedir el movimiento. Este sistema de frenado, generalmente suele accionarse manualmente mediante una palanca. En la mayoría de los vehículos ligeros se acciona con la mano, que acciona un cable; el cual bloquea las ruedas traseras.



Como se observa en la imagen, existen diferentes tipos de frenos, los mas usuales son los frenos de disco, los de tambor o zapata y los frenos de banda.

2.-Fenomeno de frenado

El efecto de frenado se basa en absorber la energía cinética que produce el vehículo en movimiento y transformarla en calor debido al rozamiento que se produce en los elementos de frenado; ya sean zapatas de freno, pastillas de freno con su disco, etc. Además de este rozamiento, existen otros factores que influyen en el frenado como son la resistencia a rodamiento, la resistencia aerodinámica, la pendiente del terreno y la resistencia interna del motor.

El valor de las fuerzas de fricción dependen de los propios frenos, del esfuerzo que ejerza el conductor sobre el pedal de freno y de la naturaleza de la transmisión de este esfuerzo.

En una primera aproximación, podemos considerar este fenómeno de frenado como un movimiento uniformemente retardado y se tendrá:

$$F_f = m * \gamma$$

donde:

F_f Fuerza de frenado

M Masa del vehículo

γ Deceleración

Por otro lado, sabemos que el esfuerzo máximo que puede transmitirse entre los neumáticos y el suelo viene dado por el valor de la adherencia.

$$F_{max} = m * g * \mu$$

donde:

g Aceleración de la gravedad

μ Coeficiente de adherencia

Para lograr el frenado máximo, $F_f = F_{max}$ y sabiendo que $\gamma = \mu * g$ (valor máximo que puede alcanzar la deceleración en la frenada) :

$$m * \gamma = m * g * \mu$$

A continuación se mostrará una tabla con los diferentes valores del coeficiente de adherencia dependiendo del terreno:

Tipo de suelo	Estado	Neumáticos	
		Nuevos	Usados
Asfalto Medio	Helado	0.1	0.1
	Embarrado	0.15	0.1
	Mojado	0.65	0.55

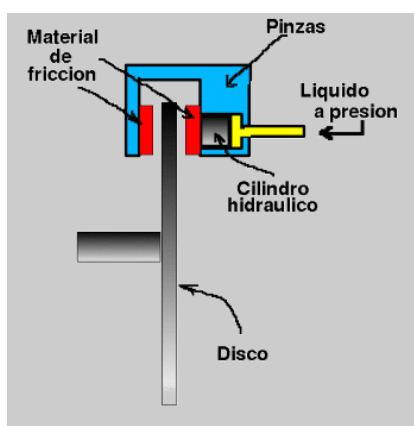
	Seco	0.8	0.8
Asfalto compacto	Mojado	0.65	0.3
	Seco	0.6	0.6
Hormigón de cemento	Mojado	0.7	0.5
	Seco	1	1

El coeficiente de adherencia, como podemos ver en la tabla anterior, depende de muchos factores; como por ejemplo de la naturaleza de los neumáticos, de la presión y temperatura de éstos, del estado del terreno, la velocidad del vehículo, etc.

3.-Frenos de disco.

Este tipo de freno es fundamentalmente empleado en los automóviles y motocicletas. La fuerza de accionamiento necesaria para detener el vehículo es mayor que en los otros tipos de frenos pero debido a su simplicidad de construcción, el bajo coste de las piezas de fricción y su elevada durabilidad lo han llevado a ser uno de los frenos por excelencia en los vehículos.

En la imagen que encontramos a continuación, podemos ver un esquema simplificado de las partes del freno de disco.



La pieza coloreada en la imagen anterior en azul corresponde con las pinzas de freno, que es un cuerpo rígido que se encuentra fijo a la estructura del vehículo y con sección en U. Estas pinzas suelen abarcar un determinado arco del disco de freno y están dotadas de 2 o 4 pastillas de freno, dependiendo del tamaño de la pinza. Las pastillas de freno son la parte roja de la imagen y suelen ser un material de fricción. Éstas pastillas son comprimidas generalmente mediante un mando hidráulico hasta que entran en contacto con el disco de freno y en ese momento de contacto se crea el par de frenado.

Estas pinzas de freno suelen estar fabricadas mediante fundición de una aleación ligera o acero. Los materiales de construcción de ésta dependen de las exigencias económicas, la ligereza necesaria y la rigidez.

El cilindro es la pieza coloreada en negro; a este se le aplica presión mediante un líquido hidráulico (representado en amarillo). El cilindro, al aplicar éste líquido sobre él, ejerce presión y empuja las piezas de fricción sobre el disco, lo que genera el par de frenado.



Ahora se desarrollará y explicará las partes mas importantes de este tipo de freno: disco de freno, pinzas y pastillas (piezas de fricción).

3.1.- Disco de freno

Los discos de freno tienen como principal objetivo la reducción de velocidad del vehículo hasta lograr que se detenga. Esto se produce debido a la fricción que se produce entre el propio disco y las zapatas de freno. Las zapatas, las cuales están fijas al vehículo a través de la pinza; entran en contacto con el disco, el cual gira solidariamente al eje de la rueda del vehículo, y debido a ese contacto, se produce un par de frenado en dirección contraria a la del movimiento y propicia la detención del vehículo. Esta fricción entre disco y pastillas genera una transformación de energía cinética en energía calorífica, y esta transformación hace que el vehículo pierda velocidad hasta lograr su detención.

Debido a esta transformación de energía, uno de los parámetros mas importantes en un buen disco de freno es la velocidad que tiene de dispersar el calor generado al ambiente. Los discos de freno, por lo general están fabricados mediante fundición gris de grafito o bien con materiales cerámicos.

- Los discos fabricados mediante fundición gris, se emplean fundamentalmente en vehículos de gama media. Éste material tiene gran resistencia a la fricción; su resistencia a la tracción es de 240 N/mm^2 y posee una dureza Brinell de entre 170 y 250 HB. Este tipo de fundiciones generalmente poseen un 92% de Hierro y el 8% restante suele estar compuesto de Manganeso, Silicio y otros; dependiendo las características deseadas.

- Los discos fabricados con materiales cerámicos, son empleados generalmente en aviación pero en la actualidad se están empezando a emplear en coches de gama alta como Audi, Porsche, Mercedes... Las ventajas de este tipo de disco frente a los de fundición, se centra en el peso (puede llegar a pesar la mitad que uno de acero), tienen mejores resistencias al desgaste y a la corrosión así como un mejor comportamiento y resistencia a altas temperaturas. El principal inconveniente en este tipo de discos es su elevado precio.

3.2.- Pinzas

El objetivo de esta pieza, es el de servir de soporte de las pastillas de freno o piezas de fricción. Podemos encontrar dos tipos de pinzas, fijas o flotantes. La diferencia entre ellas se centra en que una no se mueve en relación al disco y las otras si. Las pinzas son las encargadas de desplazar las pastillas para que entren en contacto con el disco.

3.3.- Piezas de fricción o zapatas

Estas piezas son comúnmente denominadas pastillas de freno y son las encargadas de producir la fricción con el disco y de esta manera conseguir disminuir la velocidad del vehículo.

Estas pastillas, pueden estar fabricadas de diferentes materiales, los mas comunes son: cerámicos, orgánicos y metálicos. Los parámetros mas importantes a la hora de elegir el material de una pastilla de freno son, el coeficiente de rozamiento y la vida útil.

Ahora se procederá a explicar las principales características de las diferentes pastillas:

- Cerámicas: soportan altas temperaturas, son mas duraderas y reducen en gran medida el desgaste del disco de freno. Este tipo de pastilla produce menos polvo al producirse la fricción, con lo cual genera menor contaminación al medio ambiente.

- Orgánicas: son también llamadas de resina, son las mas empleadas al estar fabricadas por un conglomerado de sustancias orgánicas e inorgánicas las cuales están compactadas mediante resinas. Este tipo de pastillas, al estar compuestas de un material blando favorece el tacto en la frenada, provocan menos ruidos y conservan mejor las pinzas de freno al no generar tanto calor en el proceso de fricción. Su principal inconveniente es que se consumen antes, es decir, su vida útil es menor que las metálicas o cerámicas.

- Metálicas: están compuestas por pequeños compuestos metálicos de cobre, bronce o hierro; estos compuestos están pegados mediante calor. Son pastillas empleadas en ambientes hostiles, debido a que tiene buenas condiciones de frenado en ambientes mojados. Son muy duraderas, aguantan altas temperaturas sin comprometer su frenada y como se ha mencionado, trabajan bien en ambientes con barro, agua y humedad. Su principal inconveniente es que desprenden mucho mas calor en la fricción que los otros tipos de pastillas, desgastan el disco y generan mas ruido que los otros modelos de pastillas.

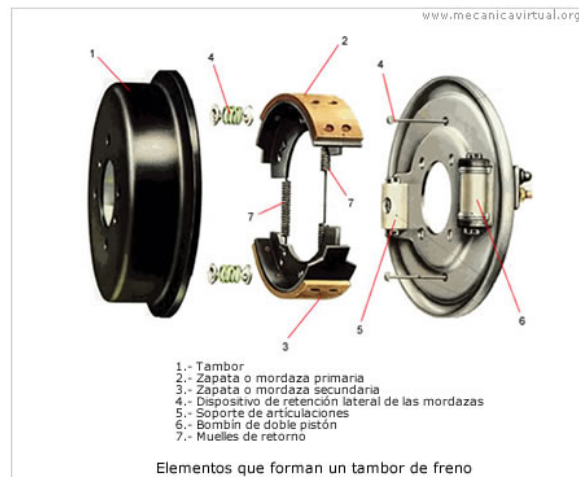
4.- Freno de zapata o tambor.

Este modelo de freno es uno de los mecanismos más empleados, sobre todo en los vehículos de gama baja. Dentro de este modelo de frenos, podemos encontrar diferentes diseños dependiendo del tipo de accionamiento que accione las zapatas.

Los frenos de zapata funcionan haciendo rozar una zapata, o bien de hierro o de acero contra un tambor metálico cilíndrico solidario a la rueda en movimiento. Dicha zapata está recubierta con un material de fricción.

Según su construcción podemos encontrar dos tipos de frenos:

- Con zapatas exteriores que rozan con la parte exterior del tambor.
- Con zapatas interiores que rozan con la parte interior del tambor.



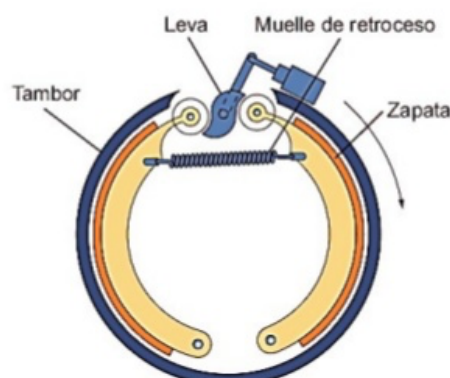
También podemos clasificar los frenos de tambor o zapata dependiendo del tipo de accionamiento:

- Accionamiento hidráulico: es el sistema empleado en los automóviles actualmente. Este sistema viene ayudado del servofreno, el cual proporciona una fuerza de frenado suplementaria. El servofreno es el elemento encargado de reducir la fuerza necesaria para accionar el pedal de freno. Gracias a éste elemento se consigue reducir la fatiga del conductor.

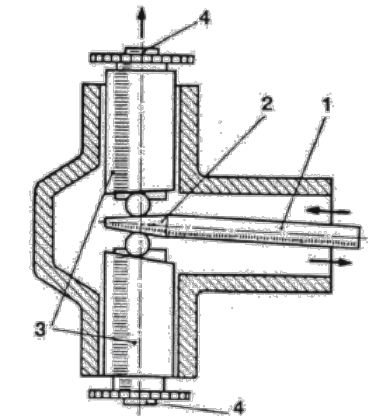
- Accionamiento mixto, neumático e hidráulico: la característica principal de este tipo de accionamiento es que éste se produce mediante una corriente de aire comprimido el cual se genera desde un compresor. La cantidad de corriente de aire que se libera hacia el servofreno se controla mediante el pedal de freno. Este sistema se emplea para frenar mesas medias o bajas; es decir, pocas toneladas.

Otro tipo de clasificación de los frenos de zapata es según la forma que tenga el actuador o leva:

- Leva en S: se conoce por ese nombre debido a la forma que tiene la leva; como podemos observar en la siguiente imagen. El freno está compuesto por dos zapatas articuladas en los extremos y provistas de un muelle de retorno.

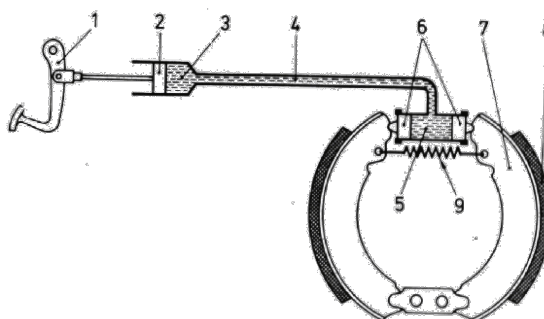


- Freno de cuña: este modelo de freno es más moderno que los de leva en S y poseen una gran eficacia. Lo único que cambia en referencia a los de leva en S es el sistema de actuadores que desplazan las mordazas. Podemos observarlo en la imagen que se muestra a continuación:



Como podemos observar, el elemento 1, es móvil y dependiendo de su posición presiona o no las zapatas contra el disco exterior.

- Freno de cilindro hidráulico: este sistema se basa en el accionamiento de dos émbolos los cuales se encuentran en un cilindro situado entre ambas zapatas. En la siguiente imagen podemos observar el sistema:



El cilindro (numero 6), acciona ambos émbolos situados en los laterales, los cuales a su vez desplazan las zapatas y provocan la fricción de éstas con el disco (numero 8).

Anexo 2.- Reglamento 13-H, ensayo tipo 0

En primer lugar, se expondrá el ámbito de aplicación y un resumen de las especificaciones que afectan a nuestro vehículo de acuerdo al reglamento. Posteriormente se expondrá en que consiste el ensayo tipo 0 así como la forma de ejecutarlo según muestra la normativa vigente. Una vez expuesto el modo de ejecución, se llevara a cabo dicho ensayo sobre el turismo en cuestión y se analizaran los resultados obtenidos.

2.1.- Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación del presente reglamento abarca a las categorías de vehículos M1(*“Vehículo para transporte de pasajeros y que no contenga más de 8 asientos además del asiento del conductor”*) y N1(*“Vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo que no exceda las 3.5 toneladas métricas”*).

El presente reglamento no se aplicará a vehículos cuya velocidad de fabricación no supere los 25 Km/h o sea un vehículo adaptado a conductores con discapacidad.

2.2.- Especificaciones

En los siguientes apartados se explicaran las generalidades y características de los sistemas de frenado, en concreto se particularizará para nuestro vehículo, es decir, se expondrán todas aquellas condiciones que el vehículo debe cumplir de acuerdo a sus propias especificaciones; por ejemplo, nuestro vehículo no posee sistema ABS, con lo cual las especificaciones relacionadas con ese sistema no serán desarrolladas. De esta manera se consigue reducir la extensión del proyecto.

2.2.1.- Generalidades

- Equipo de frenado: deberá ser diseñado, fabricado e instalado de manera que en condiciones normales de utilización y a pesar de las vibraciones, el vehículo se ajuste a las disposiciones del presente reglamento. Debe ser capaz de resistir los fenómenos de corrosión y de envejecimiento a los que esta expuesto. Esta prohibido usar amianto en los forros de freno. La eficacia del equipo de frenado no deberá sufrir cambios debidos a interferencias producidas por campos magnéticos y eléctricos. La señal de demanda de la transmisión del mando podrá ser interrumpida brevemente (< 10 ms) por una señal de detección de un fallo, siempre que la eficacia del frenado no se vea afectada por ello.

- Funciones del dispositivo de frenado: El sistema de frenado de servicio permitirá controlar el movimiento del vehículo y pararlo de forma segura, rápida y eficaz, cualesquiera que sean la velocidad, la carga o la pendiente en la que se encuentre el vehículo. Sus efectos deberán ser regulables. El conductor podrá frenar desde el puesto de conducción sin quitar las manos del mecanismo de dirección. El sistema de frenado de socorro deberá permitir, accionando el mando del mismo, detener el vehículo en una distancia razonable en caso de que falle el freno de servicio. Sus efectos deberán ser regulables. El conductor podrá frenar desde el puesto de conducción sin quitar las manos del mecanismo de dirección. Para los fines de las presentes disposiciones, se supone que no podrá producirse a la vez más de un fallo del sistema de frenado de servicio. El sistema de frenado de estacionamiento deberá permitir mantener inmóvil el vehículo en una pendiente incluso en ausencia del conductor, quedando mantenidas en posición de

bloqueo las superficies activas del freno por medio de un dispositivo de acción puramente mecánica. El conductor podrá frenar de esta forma desde el puesto de conducción.

- Disposiciones relativas a la inspección técnica periódica de los sistemas de frenado: Deberá ser posible evaluar la condición de desgaste de los componentes del freno de servicio que estén sometidos a desgaste, como los forros de fricción y los tambores o discos. Debe ser posible verificar de una manera sencilla el correcto funcionamiento de los sistemas electrónicos complejos que controlen el frenado. Si se precisa información especial, esta se facilitará sin impedimentos. En el momento de la homologación de tipo, los medios implementados para proteger contra una modificación simple no autorizada del funcionamiento de los medios de verificación elegidos por el fabricante (la señal de aviso, por ejemplo) se describirán a título confidencial. Como alternativa, este requisito de protección se cumplirá cuando se disponga de un medio secundario que permita comprobar que el funcionamiento es el correcto. Será posible generar máximas fuerzas de frenado en condiciones estáticas sobre un dispositivo de ensayo de los frenos de superficie rodante o con rodillos.

2.3.- Ensayos de frenado

Todo sistema de frenado instalado en cualquier vehículo, debe cumplir el reglamento así como los ensayos pertinentes; estos ensayos se basan en el calculo de la eficacia de frenado mediante unos parámetros que se expondrán a continuación:

La eficacia en un sistema de frenado será calculada mediante la distancia de frenado y la deceleración media estabilizada. Dicha eficacia de un sistema de frenado se determinará midiendo la distancia de frenado en relación con la velocidad inicial del vehículo o midiendo durante el ensayo la deceleración media estabilizada.

La distancia de frenado será la distancia que recorrerá el vehículo desde el momento en que el conductor accione el sistema de frenado hasta el momento en que el vehículo se detenga. La velocidad inicial será la velocidad en el momento en el que el conductor accione el sistema de frenado. Esta velocidad inicial no debe ser inferior al 98% de la velocidad exigida en el ensayo considerado.

La deceleración media estabilizada se calculara como la deceleración media en relación con la distancia entre el intervalo v_b y v_c mediante la siguiente formula:

$$d_m = \frac{v_b^2 - v_c^2}{25,92 (s_c - s_b)}$$

siendo:

v_o = velocidad inicial del vehículo en km/h

v_b = velocidad del vehículo a $0,8 v_o$ en km/h

v_e = velocidad del vehículo a $0,1 v_o$ en km/h

s_b = distancia recorrida entre v_o y v_b en metros

s_e = distancia recorrida entre v_o y v_e en metros.

Para la toma de datos de velocidad y distancia en el ensayo, se necesitará instrumentación previamente calibrada cuyo margen de error sea de $\pm 1\%$ de la velocidad exigida en el ensayo. La deceleración media estabilizada (d_m) puede ser determinada mediante otros métodos que no sean la medición de la velocidad y la distancia; en ese caso, el margen de error para la d_m será de $\pm 3\%$.

La eficacia de frenado deberá ser determinada en ensayos en pista que cumpla las siguientes condiciones para poder conseguir la homologación del vehículo:

- La masa del vehículo será la determinada en las disposiciones aplicables a cada tipo de ensayo y figurará en el acta del ensayo.

- El ensayo deberá llevarse a cabo a las velocidades indicadas para cada tipo de ensayo. Si la velocidad máxima por fabricación del vehículo sea inferior a la prescrita para un ensayo, este deberá efectuarse a la velocidad máxima del vehículo.

- Durante los ensayos, la fuerza ejercida sobre el mando para obtener la eficacia exigida no debe sobrepasar la fuerza máxima establecida.

- La superficie de la carretera permitirá una adherencia adecuada, a no ser que se especifique de otra manera en los anexos correspondientes.

- El ensayo se realizara sin que haya viento que pudiera influir en los resultados.

- Al comienzo de los ensayos los neumáticos deberán estar fríos y a la presión prescrita para la carga efectivamente soportada por las ruedas cuando el vehículo está parado.

- La eficacia exigida se obtendrá sin bloquear las ruedas a velocidades superiores a 15 km/h, sin que se desvíe el vehículo de un carril de 3,5 m de ancho, sin que supere un ángulo de guiñada de 15° y sin vibraciones anormales.

- En referencia al comportamiento del vehículo durante el frenado; durante los ensayos de frenado, especialmente en aquellos que se desarrollen a altas velocidades, deberá comprobarse el comportamiento general del vehículo durante el frenado. Éste comportamiento del vehículo durante el frenado en una carretera cuya adherencia sea reducida deberá cumplir los requisitos pertinentes del anexo 5 o del anexo 6 del presente reglamento.

2.4.- Ensayo tipo 0

Para llevar a cabo este ensayo, el reglamento expone una serie de condiciones que tiene que cumplir el vehículo a la hora de realizar el ensayo:

→ La temperatura media de los frenos de servicio del eje mas caliente del vehículo deberá estar situada entre 65 y 100° antes de cualquier accionamiento del freno.

→ El vehículo deberá estar cargado, siendo la distribución de la masa entre los ejes la declarada por el fabricante. Todos los ensayos deberán repetirse con el vehículo descargado.

→ Podrá haber además del conductor, una persona sentada en el asiento delantero y encargada de tomar nota de los resultados del ensayo.

→ El vehículo deberá cumplir el requisito de la distancia de frenado y la deceleración media estabilizada.

→ La carretera en la cual se realicen los ensayos debe ser horizontal.

→ El ensayo deberá llevarse a cabo a la velocidad indicada, aunque se admitirá un cierto margen de tolerancia en referencia a las cifras establecidas.

→ Se deberá conseguir la eficacia mínima establecida.

→ Se medirán los valores de la eficacia práctica máxima y el comportamiento del vehículo se ajustará a lo indicado en el anexo 5 del reglamento, el cual se explicará a continuación en el apartado 2.8 de éste trabajo.

2.5.- Eficacia del sistema de frenado

Según recoge el reglamento 13-H al llevar a cabo el ensayo, el vehículo debe cumplir con los parámetros de la siguiente tabla. En la cual nos indica las condiciones en las que debe ser ensayado el sistema de freno de servicio de un turismo:

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

siendo:

v = v = velocidad de ensayo en km/h

s = distancia de frenado en metros

d_m = deceleración media estabilizada en m/s^2

f = fuerza ejercida sobre el pedal del freno en daN

$v_{\text{máx}}$ = velocidad máxima del vehículo en km/h.

2.6.- Sistema de frenado de socorro

La eficacia de este sistema de frenado se ensayará mediante el ensayo tipo 0; con el motor desembragado y partiendo de una velocidad de 100Km/h y una fuerza ejercida sobre el mando de freno de servicio situada entre 6.5 y 50 daN.

La distancia de frenado no debe superar el siguiente valor:

$$0.1 v + 0.0158 v^2 \text{ (m)}$$

y una deceleración media estabilizada de 2.44 m/s^2 .

El ensayo de eficacia del freno de socorro se efectuará simulando condiciones reales de fallo del sistema de frenado de servicio.

2.7.- Sistema de frenado de estacionamiento

Éste sistema de frenado debe ser capaz de mantener el vehículo cargado inmóvil en una pendiente del 20%. En los vehículos en los que este permitido enganchar un remolque, el sistema de frenado de estacionamiento del vehículo de motor deberá poder mantener detenido el conjunto en una pendiente del 12%.

Si el mando fuera de accionamiento manual, la fuerza ejercida sobre el mismo no deberá sobrepasar los 40 daN. Si el mando se acciona con el pie, la fuerza ejercida no deberá sobrepasar los 50 daN.

2.8.- Anexo 5 del Reglamento 13-H: Distribución de frenado entre los ejes de los vehículos

El presente anexo debe ser aplicado a todo vehículo que no disponga de un sistema de antibloqueo. Requisitos a cumplir por el vehículo:

- Sea cual sea la carga del vehículo, la curva de utilización de la adherencia del eje trasero no estará situada por encima de la del eje delantero.

- Para los valores de α entre 0.2 y 0.8:

$$z \geq 0.1 + 0.7 (\alpha - 0.2)$$

Para la comprobación, el fabricante deberá aportar las curvas de utilización de la adherencia del eje delantero y el trasero, las cuales deben calcularse empleando las siguientes formulas:

$$f_1 = \frac{T_1}{N_1} = \frac{T_1}{P_1 + z \cdot \frac{h}{E} \cdot P \cdot g}$$

$$f_2 = \frac{T_2}{N_2} = \frac{T_2}{P_2 + z \cdot \frac{h}{E} \cdot P \cdot g}$$

Estas curvas deberán establecerse para las dos condiciones de carga siguientes:

- Descargado, en orden de marcha y con un conductor a bordo.

- Cargado, cuando existan varias posibilidades de distribución de la carga, se elegirá aquella en la que la mayor masa recaiga sobre el eje delantero.

2.8.1.- Procedimiento de ensayo

Durante los ensayos de homologación, el servicio técnico responsable comprobará el cumplimiento de los requisitos.

Si durante la realización del ensayo, se bloquean antes o al mismo tiempo las ruedas delanteras frente a las traseras, se habrá verificado la conformidad del anexo y finalizado los ensayos, es decir, la curva de utilización de la adherencia del eje trasero estará situada por debajo de la del eje delantero.

En el caso de que el eje trasero se bloquee antes que el delantero, se deberá someter al vehículo a los siguientes ensayos: ensayos suplementarios de la secuencia de bloqueo de rueda y/o ensayos de la rueda del par para determinar factores de freno para generar las curvas de utilización de la adherencia.

Se deberá añadir al informe de homologación los resultados tanto positivos como negativos de los ensayos prácticos.

2.8.1.1.- Procedimiento de ensayo de la secuencia de bloqueo de rueda.

La finalidad de este ensayo es garantizar que el bloqueo de ambas ruedas delanteras sucede a un índice de deceleración inferior al del bloqueo trasero.

Para llevar a cabo el ensayo, el vehículo deberá estar cargado y descargado, es decir el ensayo se realizara dos veces y con el motor desembragado. Las condiciones en que debe ser ensayado son las siguientes:

- Temperatura inicial de los frenos entre 65 y 100°C en el eje mas caliente
- Velocidad de ensayo: 65km/h a un coeficiente de frenado ≤ 0.5 o 100km/h si el coeficiente es >0.5 .
- La fuerza en el pedal deberá ser controlada o bien por un conductor experimentado o por un dispositivo mecánico. La fuerza sobre el pedal aumentará siguiendo un índice lineal. Se soltará el pedal cuando se bloquee el segundo eje o la fuerza sobre el pedal alcance 1KN o 0.1s después del primer bloqueo.
- Bloqueo de la rueda solo se tendrán en cuenta cuando los bloqueos de la rueda se produzcan a una velocidad de 15 km/h.
- La superficie de ensayo debe tener un coeficiente de frenado entre 0.15 y 0.8.
- Se deberán registrar en cada ensayo los siguientes datos: la velocidad del vehículo, coeficiente instantáneo de frenado del vehículo, fuerza ejercida sobre el pedal y velocidad angular de cada rueda.
- Cada ejecución del ensayo se repetirá una vez para confirmar la secuencia de bloqueo de la rueda y si uno de los dos resultados no se ajusta a lo prescrito, se procederá a una tercera ejecución.

Los requisitos de eficacia que debe cumplir son los siguientes:

- Las ruedas traseras no deben bloquearse hasta después de que se hayan bloqueado las delanteras, con coeficientes de frenado del vehículo de entre 0.15 y 0.8.
- Si durante el ensayo, el vehículo cumple uno de los criterios siguientes, habrá cumplido el requisito de la secuencia de bloqueo de las ruedas:
 - Ningún bloqueo de las ruedas.
 - Ambas ruedas del eje delantero y una o ninguna rueda del eje trasero se bloquean.
 - Se bloquean ambos ejes a la vez.
 - Si el bloqueo de las ruedas comienza a un coeficiente de frenado de entre 0.8 y 0.15, el ensayo será valido y se repetirá con una superficie de rodadura diferente.

- Si durante el ensayo son las ruedas pertenecientes al eje trasero las que se bloquean primero, el ensayo de secuencia del bloqueo de la rueda no habrá sido superado. En este caso, el vehículo se deberá someter al procedimiento de ensayo de la rueda del par que se explicara a continuación.

2.8.1.2.- Procedimiento de ensayo de la rueda del par.

El objetivo de este ensayo es medir los factores del frenado y determinar, así, la utilización de la adherencia de los ejes delantero y trasero en una gama de coeficientes de frenado de entre 0,15 y 0,8.

Para la realización de este ensayo, el vehículo deberá estar cargado y descargado, es decir, se realizarán dos ensayos. Además el motor debe estar desembragado.

Las condiciones y procedimientos del ensayo:

- La temperatura inicial del freno: media de entre 65 °C y 100 °C en el eje más caliente.

- Velocidades del ensayo: 100 km/h y 50 km/h.

- Fuerza sobre el pedal: la fuerza sobre el pedal aumentará a un índice lineal de entre 100 y 150 N/s en el ensayo a 100 km/h de velocidad o entre 100 y 200 N/segundo en el ensayo a 50 km/h de velocidad hasta el bloqueo del primer eje o hasta que la fuerza sobre el pedal sea de 1 kN (lo que se produzca primero).

- Refrigeración del freno: entre los accionamientos del freno, el vehículo circulará a velocidades de hasta 100 km/h hasta que se alcance la temperatura inicial del freno especificada en la letra a) de este punto 3.

- Número de ensayos: estando el vehículo descargado, se efectuarán cinco paradas a una velocidad de 100 km/h y cinco paradas a una velocidad de 50 km/h alternándose entre las dos velocidades de ensayos después de cada parada. Con el vehículo cargado, se harán otras cinco paradas a cada una de las velocidades de ensayo alternando entre las dos velocidades de ensayo.

- Superficie de ensayo: este ensayo se realizará en una superficie de carretera de ensayo que permita una buena adherencia.

- Datos que se registrarán: se registrará automática y continuamente en cada ejecución del ensayo la información siguiente, de manera que se puedan hacer referencias cruzadas entre los valores de las variables en tiempo real:

- . i) Velocidad del vehículo
- . ii) Fuerza ejercida sobre el pedal
- . iii) Velocidad angular en cada rueda
- . iv) Par del freno en cada rueda

. v) La presión del circuito hidráulico de cada circuito de freno, incluidos los captores de al menos una de las ruedas delanteras y una rueda trasera después de cualquier válvula de dosificación operativa o de limitación de la presión.

. vi) Deceleración del vehículo

- Índice de muestreo: todo equipo de adquisición de datos será capaz de un índice de muestreo mínimo de 40 Hz en todos los canales.

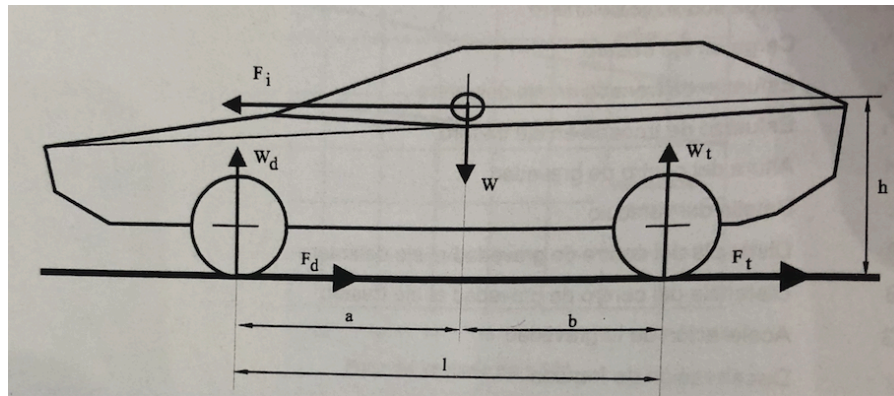
- Determinación de la presión del freno delantero en relación con la presión del freno trasero: determínese la relación entre la presión del freno delantero y la del trasero en toda la gama de presiones del circuito. A no ser que el vehículo tenga un sistema dosificador del freno variable, esta determinación se hará en ensayos estáticos. Si el vehículo tiene un sistema dosificador del freno variable, se realizarán ensayos dinámicos con el vehículo cargado y descargado. Quince frenados a 50 km/h en cada una de las dos condiciones de carga utilizando las mismas condiciones iniciales especificadas en este apéndice.

Anexo 3.- Curvas de equiadherencia

En primer lugar, se creará un listado con todas las variables que serán empleadas en las fórmulas necesarias para calcular estas curvas:

W	Peso total del vehículo
W_d	Carga sobre el eje delantero
W_t	Carga en eje trasero
F_d	Esfuerzo de frenada en eje delantero
F_t	Esfuerzo de frenada en eje trasero
H	Altura del centro de gravedad
L	Batalla del vehículo
A	Distancia del centro de gravedad al eje delantero
B	Distancia del centro de gravedad al eje trasero
G	Aceleración de la gravedad
γ	Deceleración de frenada
μ	Coefficiente de adherencia
F_{dm}	Esfuerzo de frenada máximo en el eje delantero
F_{tm}	Esfuerzo de frenada máximo en el eje trasero
N_{dm}	Par de frenada máximo en el eje delantero
N_{tm}	Par de frenada máximo en el eje trasero
R	Radio de la rueda

Para calcular las curvas de equiadherencia de un vehículo, necesitamos conocer los pares de frenada máximo tanto delantero como trasero. En primer lugar, se comenzará aplicando las ecuaciones de equilibrio sobre el vehículo que aparece en la siguiente imagen:



Para obtener las ecuaciones de equilibrio, se desprecian las resistencias aerodinámicas y de rodadura:

$$W_d + W_t = W$$

$$F_d + F_t = F_i$$

$$W_d * l - F_i * h - W * b = 0$$

Despejando de este sistema de ecuaciones el valor de W_d y sustituyendo en ella el valor de la fuerza de inercia:

$$F_i = \frac{W}{g} * \gamma$$

se obtiene:

$$W_d = \frac{W * h}{g * l} * \gamma + \frac{W * b}{l}$$

$$W_t = -\frac{W * h}{g * l} * \gamma + \frac{W * a}{l}$$

conociendo que la deceleración máxima de frenada $\gamma = \mu * g$; y que $F_{dm} = \mu * W_d$ y que $F_{tm} = \mu * W_t$. Podemos despejar las ecuaciones de frenado máximo tanto para el eje delantero como el trasero y las ecuaciones de par máximo:

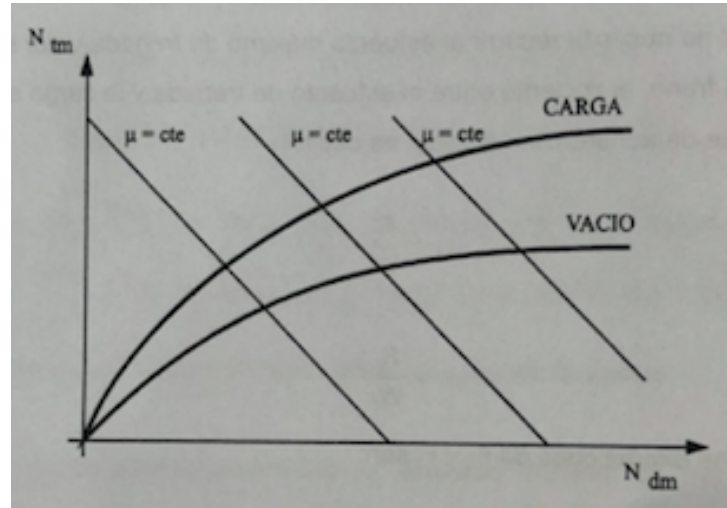
$$F_{dm} = \frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * b}{l} * \mu$$

$$F_{tm} = -\frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * a}{l} * \mu$$

$$N_{dm} = R * \left(\frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * b}{l} * \mu \right)$$

$$N_{tm} = R * \left(-\frac{W * h}{g * l} * \mu^2 * g + \frac{W * a}{l} * \mu \right)$$

Las curvas de equiadherencia son aquellas que relacionan el par máximo de frenada trasero con el delantero, esta gráfica tiene forma de parábola, como la observada en la siguiente imagen:



En la imagen anterior se representan dos curvas, las cuales corresponden a las posiciones de vehículo cargado y vacío. Para obtenerlas basta con dar diferentes valores a μ en las expresiones de los pares máximos de frenada.

Por otro lado, debe cumplirse que:

$$F_{dm} + F_{tm} = \mu * W$$

Por lo que:

$$\frac{N_{dm}}{R} + \frac{N_{tm}}{R} = \mu * W$$

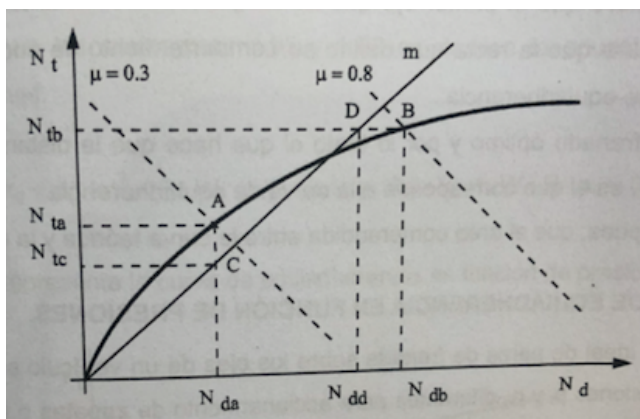
se procede a despejar y obtenemos que:

$$\mu = \frac{N_{dm} + N_{tm}}{R * W}$$

Por lo tanto, cuando tengamos $\mu = cte$, se obtendrán las rectas que aparecen en la imagen para cada estado de carga.

3.1.- Interpretación de las curvas de equiadherencia

Un sistema de frenos reaccionará de forma que cuando el conductor ejerza sobre el pedal cualquier esfuerzo, se aplicará el esfuerzo máximo que permita la adherencia del suelo tanto para el eje delantero como para el trasero. Esta adherencia máxima se muestra en la curva de equiadherencia. Se procederá a explicar este termino mediante ejemplos:



Por ejemplo, si en un instante dado, la adherencia vale 0.8, los pares máximos de frenada que pueden lograrse son los dados por el punto B de la imagen. Si por ejemplo en un instante dado, las condiciones de adherencia disminuyen a 0.3, los pares de frenado máximos disminuirían y solo se podrían lograr los del punto A.

En la practica, es muy complicado lograr un sistema de frenos que siga la curva de equiadherencia, generalmente se trata de conseguir una parecida a la recta m . Esto implica que si en un momento, el conductor necesita apurar al máximo sus posibilidades de frenado, los pares que obtendrá en su vehículo dependerán de la recta que siga su sistema de freno.

Analizaremos en primer lugar que ocurriría si la adherencia es de 0.3. El sistema de freno de nuestro vehículo seguirá la recta m , con lo cual para esta adherencia de 0.3 el par de frenado que lograra será N_{tc} pero el máximo que se podría lograr sin que las ruedas delanteras patinasen seria N_{ta} . Una vez superado ese par N_{ta} , si el conductor sigue presionando el pedal de freno el eje delantero patinará.

Ahora analizaremos el caso de adherencia 0.8. Si el conductor acciona el freno hasta superar el punto D, implica que se sobrepasa el par de frenada máximo, con lo cual el par que se aplica a las ruedas traseras es mayor que el máximo permitido por la curva de equiadherencia y esto generara que las ruedas traseras se bloqueen. En referencia al eje delantero, $N_{dd} < N_{db}$ con lo cual el eje delantero puede seguir frenando sin problema.

Como podemos observar en la imagen, mientras que la recta que define el comportamiento del sistema de frenado del vehículo está por debajo de la curva de equiadherencia, el vehículo tenderá a patinar en primer lugar el eje delantero. Si la recta pasa por encima de la curva de equiadherencia el primer eje que se bloquea es el trasero.

Si durante la frenada se bloquea el eje delantero, el conductor pierde el dominio del vehículo. Ante esta situación bastaría con levantar el pie del pedal de freno para disminuir

el par de frenado y de esa manera evitar el bloqueo de las ruedas y que el conductor pueda lograr dominar el vehículo de nuevo.

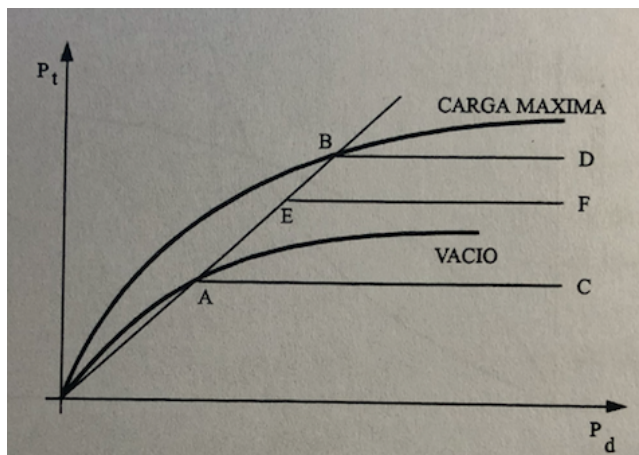
Otro caso ocurriría cuando es el eje trasero el que se bloquee. En este caso el vehículo inmediatamente comenzaría a hacer un trompo y tendería a cruzarse en la carretera. El dominio de esta situación es mucho mas complicada que la anterior. Debido a esto, el modelo ideal de un sistema de frenos es que se bloqueen las cuatro ruedas a la vez, lo cual es imposible con los sistemas de freno actuales.

Debido a la imposibilidad de lograr el bloqueo de las cuatro ruedas a la vez, se tiende a diseñar sistemas de freno que en caso de emergencia bloqueen en primer lugar el eje delantero, con lo que la recta que define el comportamiento de éstos irá por debajo de la curva de equiadherencia.

Un sistema de frenado debe parecerse lo máximo posible a la curva de equiadherencia, pero debido a que esto es prácticamente imposible, se diseñara teniendo en cuenta que el área comprendida entre la curva teórica y la recta sea mínima.

3.2.-Válvulas limitadoras de presión

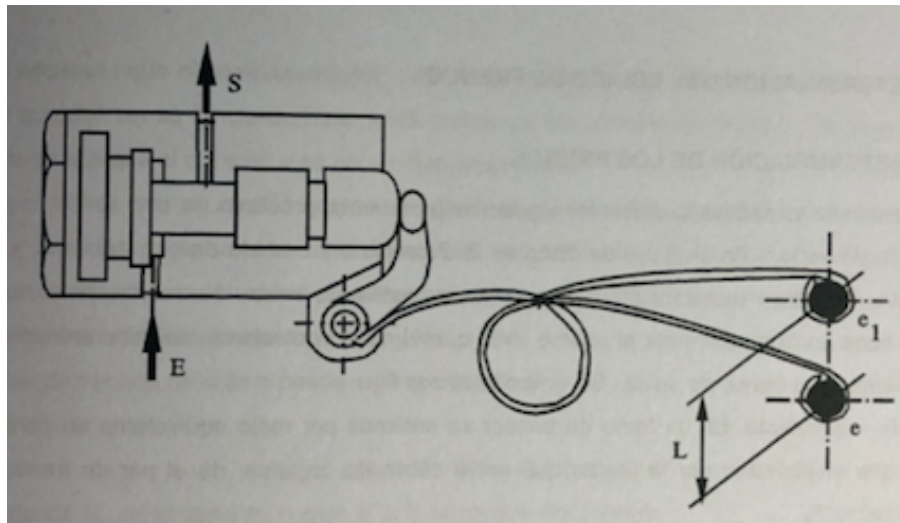
En primer lugar, comenzaremos con una imagen que muestra las curvas de equiadherencia de un vehículo así como las curvas que generan las válvulas limitadoras:



Como se ha mencionado con anterioridad, el sistema de frenos ideal, es aquel que se ajusta a las curvas de equiadherencia, pero ese sistema entraña gran dificultad para llevarse a cabo además de un costo elevado. Por lo tanto, una forma de aproximar estos sistemas de freno a las curvas de manera optima es haciendo que este sistema de freno siga las líneas OAC, OABD, etc. cada una de estas líneas corresponde a un sistema de freno con válvula limitadora en vacío y en carga, respectivamente.

Para cada estado de carga, se generaría una curva de equiadherencia, con lo cual, el área comprendida entre las curvas de vacío y de carga máxima, corresponden a estos diferentes estados de carga.

En la siguiente imagen se muestra un esquema básico de una válvula limitadora:



Como se observa en la imagen, la válvula contiene una entrada, la cual denominaremos E y una salida S. El paso del líquido de freno desde el cilindro maestro entra por E y S, conecta directamente a los cilindros de accionamiento de las zapatas o pinzas de las ruedas del eje trasero.

En la parte derecha de la imagen observamos dos resortes; la extremidad del resorte, e, está unido a la parte en suspensión del eje o rueda traseros y cuyo desplazamiento L, esta en función de la carga sobre dicho eje.

Para diseñar la forma que tomara la curva de esta válvula limitadora, basta con diseñar de forma adecuada la rigidez, constante o variable de ese resorte.

El funcionamiento de las válvulas limitadoras de presión es tal que, a partir de una presión dada, los frenos delanteros podrán seguir frenando, pero en los frenos traseros esta presión permanece constante por mucho que se siga pisando el pedal de freno.

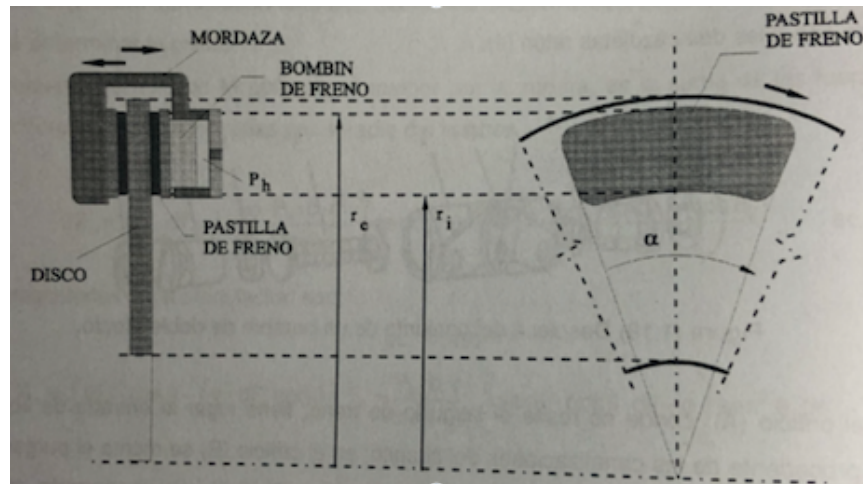
En resumen, un sistema de frenado, dependiendo la forma en que este diseñado puede generar problemas si la presión que ejerce el conductor supera las curvas de equiadherencia, o bien patinara el eje trasero o bien se bloquean las ruedas delanteras. Para ello se han desarrollado las válvulas limitadoras, que a una presión dada generan una recta que impide que se genere mas par en el eje trasero y supere las curvas de equiadherencia lo que haría que el vehículo patinase.

Anexo 4.- Cálculo y determinación del equipo de frenos

4.1.- Cálculo de freno de disco

Para llevar a cabo el cálculo de un freno de disco, hay diferentes parámetros que debemos tener en cuenta: la fuerza que actúa sobre cada pastilla, la superficie de las pastillas, el par de frenada y el radio equivalente del disco.

En la siguiente figura se muestra un esquema de un freno de disco:



La figura anterior representa un esquema de un freno de disco con un solo bombín hidráulico. En este caso, el cilindro desplaza la pastilla derecha hasta que entra en contacto con el disco. La fuerza que actúa sobre cada pastilla viene dada por:

$$T = \frac{\pi * d^2}{4} * P_H$$

donde:

d Diámetro hidráulico

PH Presión hidráulica

4.1.1.- Superficie de las pastillas

A continuación, se desarrollará el cálculo de la superficie de las pastillas. En este caso se analizarán unas pastillas con forma de segmento anular. Se partirá de un diferencial de área cuya expresión es:

$$ds = r * d\phi * dr$$

Integrando la expresión anterior y sabiendo que las pastillas serán dobles, es decir, una a cada lado del disco:

$$S = \int_0^\alpha \int_{r_i}^{r_e} r * d\phi * dr = \int_0^\alpha \left(\frac{r_e^2 - r_i^2}{2} \right) * d\phi = \frac{\alpha * (r_e^2 - r_i^2)}{2}$$

con: $S_t = \alpha * (r_e^2 - r_i^2)$

Como se ha explicado anteriormente, cada pastilla es empujada con una fuerza T, con lo cual la presión entre las pastillas y el disco será:

$$P = T/S$$

y sustituyendo S en la ecuación, obtenemos:

$$P = \frac{\frac{\pi * d^2}{4} * P_H}{\frac{\alpha(r_e^2 - r_i^2)}{2}} = \frac{\pi * d^2 * P_H}{2 * \pi * (r_e^2 - r_i^2)}$$

Estas expresiones solo son validas en el caso en que se considere que la **distribución de presiones entre las pastillas y el disco es constante**.

La fuerza normal ejercida por la pastilla se puede expresar como:

$$F_N = \frac{P * \alpha * (r_e^2 - r_i^2)}{2}$$

4.1.2.- Par de frenada

Para calcular el par de frenada se partirá de la ecuación diferencial de fuerza:

$$dF_n = p * ds$$

Esta fuerza normal, generará una fuerza de rozamiento entre las pastillas y el disco que se podrá expresar según la siguiente ecuación:

$$dF_t = \varphi * dF_n = \varphi * p * ds$$

donde φ representa el coeficiente de rozamiento entre la pastilla y el disco. El dF_t generará un par respecto al centro de giro del disco que se podrá expresar:

$$dM = r * \varphi * p * ds$$

Sustituyendo ds por su valor e integrando obtenemos el par de frenada; y teniendo en cuenta que hay 2 pastillas:

$$M = 2 * \int_0^\alpha \int_{r_i}^{r_e} \varphi * p * r^2 * dr * d\phi = 2 * \frac{\alpha * \varphi * p * (r_e^3 - r_i^3)}{3}$$

4.1.3.- Radio equivalente

El radio equivalente es un dato que se emplea para facilitar el calculo de un freno de disco, este cálculo consiste en resolver el cociente entre el par de frenada y la fuerza de rozamiento generada por una pastilla.

$$r_d = \frac{M}{dF_n * \varphi} = \frac{\frac{\alpha * \varphi * p * (r_e^3 - r_i^3)}{3}}{\frac{\alpha * \varphi * p * (r_e^2 - r_i^2)}{2}} = \frac{2 * (r_e^3 - r_i^3)}{3 * (r_e^2 - r_i^2)}$$

4.2.- Determinación del equipo de freno

Antes de llevar a cabo el calculo del equipo de frenos completo, es necesario conocer los siguientes parámetros prácticos:

- Radio de acción (R_d): en un freno de disco, es la distancia entre el eje de giro del disco y el eje del pistón hidráulico o bombín, el cual actúa sobre la pastilla. Generalmente el radio de acción tiene aproximadamente el mismo valor que el radio equivalente.

- Radio equivalente (R_e): en un freno de tambor se define como un parámetro virtual que, multiplicado por la fuerza que actúa sobre las zapatas, da el par de frenada.

Para poder determinar los frenos de un automóvil tipo turismo, habrá que comenzar calculando las curvas de equiadherencia tanto en vacío como en carga máxima; para ello es necesario conocer las dimensiones y pesos del vehículo.

Para llevar a cabo el calculo de nuestro sistema de frenos, se debe conocer que tipo de frenos lleva instalado nuestro vehículo, en este caso lleva frenos de disco tanto traseros como delanteros. Para realizar el cálculo, debemos tomar de las curvas de equiadherencia, los momentos máximos de frenada sobre el eje delantero y sobre el trasero para un coeficiente de adherencia de $\mu = 0.85$.

El par de frenada delantero, puede expresarse como:

$$N_d = R_d * 4 * \varphi * P_H * S_b$$

R_d Radio de acción.

S_b Superficie del bombín.

El 4 se debe a que hay dos bombines por disco y dos discos por eje.

La P_H , generalmente se diseña para que no supere los 80 bar

$$\varphi = 0.36$$

Sustituyendo estos datos en la expresión anterior para el valor máximo de par de frenada delantero, se obtiene:

$$N_{dm} = R_d * 4 * 0.36 * 80 * S_b$$

Y conociendo el radio de acción, podemos calcular la sección que deben tener los bombines y su diámetro:

$$S_b = \frac{N_{dm}}{R_d * 4 * 0.36 * 80}$$

$$d_b = \sqrt{\frac{S_b * 4}{\pi}}$$

En nuestro caso como ambos discos son de freno, se tomarían las mismas ecuaciones y se obtendría la superficie y diámetro del bombín trasero de la misma manera.

Anexo 5.- Certificado de taller



Autolab Ensayos y Certificación, S.L.
C/ Ganduxer 16, entlo. 2º
08021 Barcelona
Tel.: 93 418 35 42
www.autolab.es



INFORME DE CONFORMIDAD N°:
IC-AUT-18/11025 R01

El abajo firmante, Víctor Gómez Salas, expresamente autorizado por el Servicio Técnico Autolab Ensayos y Certificación, S.L.

INFORMA

Que el vehículo marca **HONDA**, tipo —, variante **CIVIC SI**, denominación comercial **CIVIC SI**, con número de bastidor : [REDACTED] matrícula [REDACTED] y contraseña de homologación —, es técnicamente apto para ser sometido a la/s reforma/s consistente/s en:

- Sustitución de la unidad motriz, sistema de admisión, caja de cambios y línea de escape por otros procedentes de un vehículo marca **HONDA** denominación comercial **CIVIC 1.6 VTI 2p.** y contraseña de homologación **B-1834**.
 - Sustitución del último silencioso por otro marca **INVIDIA**, tipo **INVIDIA1**, con marcaje de homologación **e1 039978**.
 - Modificación del sistema de frenado del eje delantero:
 - Sustitución de las pinzas de freno del eje delantero por otras de 2 pistones, marca **HONDA**, modelo **17CL15VN**.
 - Sustitución de los discos de freno delanteros por otros, ventilados, de **282mm** de diámetro.
 - Modificación del sistema de suspensión:
 - Sustitución de los amortiguadores de ambos ejes por otros de cuerpo roscado marca **BC RACING**, con referencias.
 - Sustitución de los muelles de ambos ejes por otros marca **BC RACING**, con referencias **62.180.010** (delanteros) y **62.200.007** (traseros).
- Sin modificación de las condiciones técnicas del sistema de dirección.
- Sustitución de los asientos delanteros por otros procedentes de un vehículo marca **HONDA**, con denominación comercial **INTEGRA TYPE R**, y contraseña de homologación **e6*95/54*0052*00**, sobre anclajes originales.

Según proyecto técnico de fecha 09/05/2018 con referencia 5224 y anexo de proyecto técnico de fecha 04/10/2018 con referencia 5224-01 realizado por Israel Bruno Nicolás Pérez, Ingeniero Técnico Industrial con nº de colegiado 1.721 del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de León.

Variaciones de los datos que figuran en la ficha técnica del vehículo:

Altura total (mm): 1.280

Motor:

Marca: **HONDA**
Tipo: **B16A2**
Cilindrada (cm³): **1.595**
Nº y disposición cilindros: **4 en línea**
Potencia efectiva (kW): **118**
Potencia fiscal (CVF): **11,62**
Tipo de combustible: **Gasolina**

Tipificada/s en el Real Decreto 866/2010 de 2 de julio, con el/los Código/s de Reforma/s:

2.1, 2.3, 2.6, 2.9, 3.3, 5.1, 7.1, 8.10

Especificaciones técnicas o reglamentarias:

Contraseña de homologación o número de informe que avale el cumplimiento de la reglamentación aplicable afectada por la/s transformación/es realizada/s al vehículo.

Reglamentación aplicable	Contraseña de homologación o informe que avale su cumplimiento
70/221/CEE Depósitos de combustible	IR-AUT-18/11025 R01
Reglamento CEPE/ONU 115R Sistemas especiales de adaptación al GLP y GNC	IR-AUT-18/11025 R01
Reglamento CEPE/ONU 110R Equipos especiales para GNC	IR-AUT-18/11025 R01

4R1P-S2 Rev. 5

1 / 2

El informe con número de revisión R01 o mayor, sustituirá y anulará al informe con número de revisión inmediatamente inferior.

Prohibida la reproducción parcial de este documento sin la autorización por escrito de Autolab Ensayos y Certificación, S.L.

Este documento puede descargarse desde la web www.autolab.es/autolab/informacion



Autolab Ensayos y Certificación, S.L.
C/ Ganduxer 16, entlo. 2ª
08021 Barcelona
Tel.: 93 418 35 42
www.autolab.es



INFORME DE CONFORMIDAD N°:
IC-AUT-18/11025 R01

Reglamento CEPE/ONU 100R Vehículos eléctricos de batería	IR-AUT-18/11025 R01
Reglamento CEPE/ONU 67R Equipos especiales para GLP	IR-AUT-18/11025 R01
R(CE) 715/2007 Emisiones (Euro 5 y 6), vehículos ligeros/acceso a la información	IR-AUT-18/11025 R01
2003/102/CE Protección de los peatones	IR-AUT-18/11025 R01
94/20/CE Dispositivos de acoplamiento	IR-AUT-18/11025 R01
72/245/CEE Parásitos radioeléctricos (compatibilidad electromagnética)	IR-AUT-18/11025 R01
72/306/CEE Humos diésel	IR-AUT-18/11025 R01
70/157/CEE Nivel sonoro admisible	IR-AUT-18/11025 R01
70/220/CEE Emisiones	IR-AUT-18/11025 R01
70/222/CEE Emplazamiento de la placa de matrícula posterior	IR-AUT-18/11025 R01
70/311/CEE Mecanismos de dirección	IR-AUT-18/11025 R01
78/549/CEE Guardabarros	IR-AUT-18/11025 R01
96/20/CE Silenciosos de recambio	IR-AUT-18/11025 R01
2005/66/CE Sistemas de protección delantera	IR-AUT-18/11025 R01
2003/97/CE Dispositivo de visión indirecta	IR-AUT-18/11025 R01
98/77/CE Catalizadores para recambio	IR-AUT-18/11025 R01
70/221/CEE Dispositivos de protección trasera	IR-AUT-18/11025 R01
74/483/CEE Salientes exteriores	IR-AUT-18/11025 R01
75/443/CEE Velocímetro y marcha atrás	IR-AUT-18/11025 R01
76/756/CEE Instalación de los dispositivos de alumbrado y señalización luminosa	IR-AUT-18/11025 R01
80/1269/CEE Potencia del motor	IR-AUT-18/11025 R01
92/23/CEE Neumáticos	IR-AUT-18/11025 R01
74/408/CEE Resistencia de los asientos	IR-AUT-18/11025 R01
74/60/CEE Acondicionamiento interior	IR-AUT-18/11025 R01
76/115/CEE Anclajes de los cinturones de seguridad	IR-AUT-18/11025 R01
77/541/CEE Cinturones de seguridad y sistemas de retención	IR-AUT-18/11025 R01
92/21/CEE Masas y dimensiones (automóviles)	IR-AUT-18/11025 R01
71/320/CEE Frenado	IR-AUT-18/11025 R01
70/387/CEE Cerraduras y bisagras de las puertas	IR-AUT-18/11025 R01
77/649/CEE Campo de visión delantera	IR-AUT-18/11025 R01

El vehículo reformado **CUMPLE** con los actos reglamentarios que son de aplicación a las reformas tipificadas en el anexo I y en el Manual de Reformas de Vehículos y es conforme con las condiciones exigibles de seguridad y de protección al medio ambiente.

Y para que así conste, a los efectos oportunos, firmo el presente en Barcelona

Fdo: Víctor Gómez Salas