



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Sistemas de frenos en vehículos de carretera, normativa y mecanismos de frenado automatizado

David Vázquez Vega
José Ricardo Hernández Jiménez
Mauricio Eliseo Cruz Acevedo
Oscar Flores Centeno
Manuel de Jesús Fabela Gallegos
Marco Antonio Hernández Nochebuena

Publicación Técnica No. 685
San Fandila, Qro.
2022

ISSN 0188-7297

Esta investigación fue realizada en la Coordinación Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural (CIVIE) del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), por el M.C. David Vázquez Vega, el M.C. José Ricardo Hernández Jiménez, el Ing. Mauricio Eliseo Cruz Acevedo, el M.C. Oscar Flores Centeno, el Dr. Manuel de Jesús Fabela Gallegos y el M.C. Marco Antonio Hernández Nochebuena.

Esta investigación es el producto final del proyecto de investigación interna EI 15/21 "Diseño de un sistema de frenado automático para pruebas estandarizadas de frenado de pánico".

Se agradece la colaboración y comentarios al documento por parte del Dr. Francisco Javier Carrión Viramontes, Jefe de la División de Laboratorios de Desempeño Vehicular y de Materiales de la CIVIE.

Contenido

Índice de figuras	v
Índice de tablas	ix
Sinopsis.....	xi
Abstract	xiii
Resumen ejecutivo	xv
Introducción.....	1
1. Antecedentes.....	3
1.1 Sistemas de frenos de vehículos automotores.....	4
1.2 Frenos del vehículo	4
1.3 Frenos hidráulicos	6
1.4 Frenos neumáticos.....	7
2. Normativas aplicables a los sistemas de frenos, sus componentes y desempeño.....	9
3. Control de la acción de frenado.....	21
4. Sistemas para automatizar el frenado	23
4.1 Sistemas robotizados sin requerimiento de conductor	23
4.2 Sistemas automatizados con presencia de conductor	25
4.3 Sistemas automáticos de freno de emergencia	30
5. Diseño conceptual del sistema para automatizar el frenado	33
5.1 Habilitación del sistema.....	35
5.2 Accionamiento.....	36
5.3 Ajuste de fuerza en el pedal.....	37

5.4	Alternativa para topología del sistema de control.....	38
5.5	Mecanismo de frenado.....	39
5.5.1	Actuador electro-neumático.....	40
5.5.2	Mecanismo de accionamiento electrohidráulico	40
5.5.3	Mecanismo de accionamiento eléctrico o electrónico.....	41
5.6	Mecanismo para acoplamiento al pedal	43
5.7	Sensor de fuerza.....	43
5.8	Mecanismo de liberación de freno	44
5.9	Indicador y señal de fuerza sobre el pedal de freno.....	45
	Conclusiones y Recomendaciones	47
	Bibliografía	51
	Anexos	57

Índice de figuras

Figura 1.1 Sistema de frenos hidráulicos de un automóvil	6
Figura 1.2 Sistema de frenos neumáticos de un vehículo de carga pesada	7
Figura 3.1 Ejemplos de sensores de fuerza para instalarse sobre el pedal del freno	22
Figura 4.1 Sistema robotizado para control de pedales y volante en un vehículo.	24
Figura 4.2 Sistema robotizado para control de pedales con palanca de velocidades (izquierda) y solo pedales (derecho)	24
Figura 4.3 Sistema robotizado para control de pedales con palanca de velocidades (izquierda) y solo pedales (derecho)	25
Figura 4.4 Sistemas electro-hidráulicos para el accionamiento del pedal del freno	26
Figura 4.5 Sistemas que integran motores eléctricos para el accionamiento del pedal de freno	26
Figura 4.6 Sistema combinado de control de acelerador y freno —CBAR— de AB Dynamics.....	27
Figura 4.7 Actuador de freno de emergencia P-A1316 de AB Dynamics.....	27
Figura 4.8 Sistema robotizado combinado acelerador-freno CC800 de VEHICO .	28
Figura 4.9 Sistema de freno robotizado CB2100 de VEHICO	28
Figura 4.10 Sistema de control de pedal multipropósito CP800 de VEHICO	29
Figura 4.11 Actuador de freno de emergencia sin riesgo de falla —FAILSAFE— de VEHICO.....	29
Figura 4.12 Vehículos arrastrados que pueden incorporar un mecanismo de frenado	30
Figura 4.13 Sistema de frenado automatizado instalados en vehículos no tripulados y arrastrados por otro vehículo	31

Figura 5.1 Tipo 1 de pedal de freno encontrado en vehículos pesados o autobuses	33
Figura 5.2 Tipo 2 (tradicional) de pedal de freno encontrado en vehículos pesados o autobuses.....	34
Figura 5.3 Tipo 2 de pedal de freno encontrado en vehículos pesados o autobuses	35
Figura 5.4 Ejemplos de interruptores cortacorriente e indicadores luminosos	35
Figura 5.5 Ejemplos de elementos para implementar las etapas de accionamiento manual o automático por medio de un interruptor UPDT (izquierda) y el disparo manual del mecanismo de frenado por medio de botón pulsador (derecha).....	36
Figura 5.6 Ejemplos sensores ópticos y magnéticos para implementar la activación del modo automático del mecanismo de frenado, por medios externos.....	37
Figura 5.7 Ejemplos teclados numéricos físicos y virtuales —sobre pantalla táctil— (izquierda) y perilla de cambios para selección del valor de la fuerza de frenado deseada o preestablecida en el sistema de control.....	38
Figura 5.8 Alternativa de estructura interna del Sistema de Control	39
Figura 5.9 Ejemplo de actuadores electroneumáticos (Indutec, 2021) y (SMC Corporation (México) S.A. de C.V., 2017)	40
Figura 5.10 Ejemplos de actuadores electrohidráulicos (Direct INDUSTRY, 2021) y (Alibaba.com, 2021)	41
Figura 5.11 Ejemplos de actuadores lineales comandados electromecánicamente (Larraioz elektronika. FT actuadores lineales, 2021), (ELECTRÓNICA EMBAJADORES. Actuadores Lineales, 2021) y (AliExpress. Actuadores Lineales, 2021)	41
Figura 5.12 Ejemplos de motor de corriente directa (izquierda), motor de pasos (centro) y servomotor (derecha)	42
Figura 5.13 Movimientos generados por el motor para desplazar el pedal de freno	43
Figura 5.14 Ejemplos de algunos mecanismos versátiles de acoplamiento al pedal del freno	43
Figura 5.15 Ejemplos de transductores de fuerza y/o celdas de carga no intrusivos al pedal de freno.....	44
Figura 5.16 Planteamiento conceptual del mecanismo de liberación del freno automatizado.....	45

Figura 5.17 Diseño conceptual del sistema de frenado automatizado. Unidad de Control y visualización..... 46

Índice de tablas

Tabla 2.1 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos.....	10
Tabla 2.2 Normas Mexicanas (NMX) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos	11
Tabla 2.3 Estándares norteamericanos (FMVSS) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos.....	12
Tabla 2.4 Regulaciones norteamericanas (FMCSR) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos	15
Tabla 2.5 Estándares SAE (SAE J) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos	17
Tabla 2.6 Normas europeas de Naciones Unidas (UNECE) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos.....	18
Tabla 2.7 Estándares ISO que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos	19
Tabla A.1 Normas Mexicanas (NMX) sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos.....	57
Tabla A.2 Estándares publicados por SAE International sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos	62
Tabla A.3 Estándares publicados por ISO sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos de carretera.....	68

Sinopsis

El frenado, controlado por el conductor, deber realizarse de manera segura, estable, en el menor tiempo y en la menor distancia; independientemente de la velocidad, de la carga del vehículo y de las condiciones del entorno. Ensayos realizados para medir las distancias y los tiempos de frenado, así como la desaceleración de distintos vehículos, requieren de habilidad y experiencia del conductor, o bien que el vehículo cuente con un mecanismo de frenado automático que permita repetibilidad y reproducibilidad entre cada evento de frenado.

En este trabajo se describen los sistemas de frenado más comunes presentes en los vehículos de carretera. De igual manera, se enuncian las normativas nacionales, regionales e internacionales aplicables a los sistemas de frenos, dirigidas a controlar componentes individuales o atendiendo al desempeño del frenado global del vehículo. Las acciones de control de frenado efectuadas por el conductor son mencionadas, así como los elementos mecánicos involucrados para ello. El documento expone algunos sistemas que permiten automatizar la acción de frenado y que se utilizan con propósitos de investigación, desarrollo o seguridad. Finalmente, se presenta una propuesta conceptual de un sistema para automatizar el frenado que incluye tanto aspectos mecánicos, como de control eléctrico y electrónico.

Abstract

Braking, controlled by the driver, must be performed safely, stably, in the shortest time and over the shortest distance, regardless of speed, vehicle's load and environmental conditions. Tests performed to measure braking distances and times, as well as the deceleration of different vehicles, require driver skill and experience, or else the vehicle must have an automatic braking mechanism that allows repeatability and reproducibility between each braking event.

This report presents the most common braking systems that are installed in road vehicles. Also, the national, regional and international standards applicable to braking systems aimed for controlling individual components or attending to the overall braking performance of the vehicle, are enunciated. The braking control actions performed by the driver are mentioned, as well as the mechanical elements involved. This work exposes some systems that allow automatic braking actions that are used for research, development or safety purposes. Finally, it presents a conceptual proposal for an automatic braking system that includes mechanical aspects, as well as electrical and electronic control.

Resumen ejecutivo

El sistema de frenos es uno de los más importantes sistemas que integran la seguridad de un vehículo. Una vez que el vehículo es puesto en movimiento se hace necesario el control de su velocidad y el sistema de frenos juega un papel relevante en ello. El sistema de frenos inicia desde el pedal sobre el cual el conductor del vehículo aplica una fuerza que es amplificada por medios hidráulicos o neumáticos, transmitiéndose esta por diferentes canales hasta llegar a los elementos que generan fricción en cada una de las ruedas del vehículo y con lo cual se tiende a reducir la velocidad de rotación de éstas y eventualmente disminuye la velocidad del vehículo. Esencialmente, el frenado, gradual o súbito, de un vehículo debe garantizar la estabilidad del este, ser realizado en el menor tiempo y recorriendo la menor distancia. Diversos elementos internos y externos, involucrados en el proceso de frenado, deben cumplir con determinados estándares o normativas tanto nacionales como internacionales. Estas normativas establecen requerimientos y especificaciones que se deben cumplir tanto a nivel de componente como del desempeño general del vehículo.

Este documento presenta de manera general, en el capítulo de antecedentes, los sistemas de frenos que incorporan básicamente los vehículos de carretera tanto de pasajeros como de carga y que, desde la aparición del vehículo automotor a principios del siglo pasado, mantienen elementos básicos como son los rotores, los tambores y las balatas. En este mismo capítulo se mencionan también los medios a través de los cuales la fuerza aplicada por el conductor sobre el pedal de freno, se amplifica y se transmite hacia los elementos de frenado ubicados en las ruedas de los vehículos.

En el capítulo 2 se hace una detallada descripción de las norma y estándares aplicables a los sistemas de frenos, a nivel nacional, regional e internacional. Se mencionan normativas que aplican a los sistemas de frenos desde un nivel de componente hasta la evaluación del desempeño del vehículo que incorpora determinado sistema de frenos. Dentro de las normas a nivel nacional aplicables para México están la Normas Oficiales Mexicanas —NOM— y las Normas Mexicanas —NMX—; mientras que las aplicables para los Estados Unidos de Norteamérica son tanto las emitidas por la Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras, NHTSA —*National Highway Traffic Safety Administration*— e identificadas como Estándares Federales de Seguridad para Vehículos de Motor, FMVSS —*Federal Motor Vehicle Safety Standards*—; y las publicadas por la Administración Federal de la Seguridad de Vehículos de Carga, FMCSA —*Federal Motor Carrier Safety Administration*—. Se presentan también normas publicadas tanto por la SAE (carácter nacional e internacional) como por la ISO (carácter internacional) en torno al tema de frenos. Finalmente, se citan

aquellas normas desarrolladas en el marco de las Naciones Unidas promovidas a través del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP.29).

En el capítulo 3 se exponen, de manera sucinta, los aspectos involucrados en el control de la acción de frenado de pánico y de cómo interactúan los elementos externos al vehículo (superficie de rodamiento o temperatura ambiental) con los elementos internos del mismo (materiales friccionantes, temperatura de los componentes y el propio conductor).

El capítulo 4 expone, de manera amplia, algunos de los sistemas existentes que pretenden automatizar el frenado de manera que la variable —conductor— pueda ser extraída de la ecuación y con ello lograr evaluaciones más objetivas del comportamiento o desempeño de los frenos de un vehículo, o como mediciones más repetibles que puedan ser comparables. En este capítulo se mencionan los sistemas robotizados sin requerimiento de un conductor, sistemas automatizados con presencia del conductor que pueda tomar el control del vehículo en un momento dado y sistemas comerciales diseñados para que, sin presencia de un conductor, un vehículo que es arrastrado por otro pueda frenar. Para este último caso se aplica una fuerza de frenado sobre el pedal correspondiente del vehículo remolcado como consecuencia de una acción que replica la frenada del conductor, pero en pedal de freno del vehículo de arrastre.

En el capítulo 5 se describe el diseño conceptual de un sistema para automatizar el frenado, considerando la presencia del conductor dentro del vehículo y estableciéndose una serie de requerimientos que se deben cumplir en este sistema automatizado de frenado. Se establece un esquema conceptual general para este sistema visualizándose y describiéndose los diferentes elementos o componentes que debiese contener

Introducción

Todo vehículo de transporte requiere romper inercias y, aquellos destinados a transitar sobre carreteras, no son la excepción. Si este se encuentra en reposo, el conductor tiene que accionar tanto la palanca de velocidades como el pedal del acelerador para que el motor y el resto de los elementos del tren motriz entren en operación para generar fuerzas en la interface llanta-pavimento de las ruedas del eje de tracción; con ello, se consigue el empuje que pone en movimiento al vehículo. El conductor puede incrementar la velocidad a través de la aceleración hasta lograr una determinada rapidez. Una vez en movimiento y a lo largo de una trayectoria recta, si el conductor del automóvil, camión, autobús o tractocamión requiere cambiar de trayecto, este tendrá que accionar el sistema de dirección —gobernado por el volante— para generar fuerzas laterales entre la superficie de rodamiento y las llantas de la dirección lo cual origina el cambio de la trayectoria del vehículo. Cuando el conductor requiere disminuir la velocidad del vehículo a una tasa de reducción importante o bien requiere detenerlo completamente, este deberá accionar el sistema de frenos —dependiente del desplazamiento y de la fuerza aplicada sobre el pedal de freno— que al entrar en operación genera que las llantas disminuyan su velocidad de rotación con lo cual se producen fuerzas de frenado, nuevamente, en la zona de contacto entre la llanta y el pavimento. Estas fuerzas, opuestas al movimiento del vehículo por lo que tienden a detenerlo. En las descripciones mecánicas anteriores, se parte del principio de que las fuerzas de adherencia entre las llantas y el pavimento, no se exceden; de ocurrir lo contrario, habrá deslizamiento o desplazamiento relativo entre estos, lo cual pudiese generar pérdidas de la estabilidad o del control direccional del vehículo.

En este sentido, la disminución de la velocidad o detención del vehículo de carretera debe llevarse a cabo de una manera controlada y estable, a una razón de frenado esperada y en la menor distancia posible, tomando en consideración las condiciones de la infraestructura carretera y del entorno climático. Aunque los diversos elementos mecánicos de los sistemas de frenos de los vehículos de carretera han transitado por diversas etapas de evolución tecnológica, hoy en día se mantienen básicamente dos elementos que son: los disco o rotores y los tambores o campanas. Ambos elementos de sistemas de frenos pueden ser accionados por medios mecánicos, hidráulicos, neumáticos o una combinación de estos dos últimos.

Cuando se realizan pruebas para evaluar el desempeño del sistema de frenos a través de la ejecución de pruebas de frenado de pánico o de emergencia, es necesario que exista un control de todo el proceso desde el momento que se acciona el sistema de frenado hasta la detención del vehículo. Para ello, se le indica al conductor que debe aplicar la máxima fuerza sobre el pedal del frenado en un

instante preciso. No obstante, es muy probable que la fuerza aplicada sobre el pedal del freno no siempre sea la máxima posible o la forma de aplicación sea siempre igual, sobre todo cuando el conductor tiene poca o nula experiencia en este tipo de pruebas. A fin de contrarrestar esto, es deseable que cada conjunto de pruebas sea realizado por el mismo conductor, después de una serie de frenadas de entrenamiento, para lograr que sean iguales y que los resultados puedan ser comparables. Desafortunadamente, cuando se llevan a cabo ensayos donde más de un conductor y un vehículo de prueba están involucrados, los resultados del frenado pudiesen tener una muy alta variabilidad y no ser comparables. Es por ello, que algunos procedimientos de prueba frenado enfatizan utilizar, ya sea un conductor o piloto de pruebas familiarizado y experimentado en este tipo de maniobras, o un mecanismo para frenado automatizado. Lo anterior, con el propósito de que la aplicación del frenado sea tanto consistente como repetible. En este documento, además de hacer mención de los sistemas de frenado utilizados en los vehículos de carretera, se hace una revisión de la normativa nacional e internacional aplicable al tema, se revisan y exponen diversos mecanismos de frenado automático que se utilizan para accionar con repetibilidad, tanto el sistema de frenos del vehículo, como otros mecanismos para su control. De igual forma, se realiza una propuesta conceptual para la implementación de un sistema de frenado automatizado con el propósito de que las maniobras de frenado de pánico o de emergencia en vehículos de carretera sean repetibles, permitiendo que la evaluación objetiva del comportamiento del vehículo no dependa de las habilidades del conductor.

1. Antecedentes

Los elementos y sistemas que integran un vehículo necesariamente deben cumplir con especificaciones y satisfacer los requerimientos técnicos establecidos en estándares, normas y reglamentos. Como parte de la verificación o evaluación de la conformidad con la normativa se llevan a cabo pruebas reales o estudios de simulación, según se encuentre especificado. El caso de la evaluación de frenado de un vehículo pudiera realizarse a nivel de componente o a nivel del desempeño global del vehículo. Para este último caso, por ejemplo, pudiesen realizarse pruebas de frenado sobre una pista *ex profeso* o en una carretera con característica particulares. Las pruebas pueden llevarse a cabo con base en protocolos de los propios fabricantes del vehículo o de los sistemas. Las pruebas de frenado desarrolladas para evaluar el desempeño global del vehículo o la evaluación comparativa de sus componentes pueden realizarse bajo condiciones de pavimento seco y pavimento mojado. Los parámetros usualmente evaluados son la distancia de frenado, el tiempo de frenado y los niveles de desaceleración máxima y promedio; algunas normativas incluso especifican determinada magnitud de fuerza que debe ser aplicada sobre el pedal del freno, como por ejemplo en la FMVSS 571.105 (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.105, 2021), en la UNECE R13 (United Nations. Regulation No. 13 Rev. 8, 2014), en la UNECE R13H (United Nations. UN Regulation No. 13-H. Rev.4, 2018) o en la NMX-D-005-1980 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. NMX-D-5-1980, 1980). La preparación de la prueba pudiese ser percibida *a priori* como simple, no obstante, la repetibilidad de las misma depende en gran medida del conductor, en cuanto a la forma, el tiempo de aplicación y la intensidad del frenado.

En la evaluación del desempeño del sistema de frenos a través de la ejecución de pruebas de pánico o de alto total de emergencia, se instruye al conductor para que éste aplique la máxima fuerza sobre el pedal de frenos. Evidentemente, al no disponer de un dispositivo —como una celda de carga— colocado sobre el pedal del freno, la fuerza aplicada sobre este no siempre será la misma y en ocasiones ni la máxima requerida. Mientras el conductor y el vehículo sean los mismos, los resultados pudiesen ser relativamente comparables. Sin embargo, cuando se realizan pruebas donde más de un conductor y vehículos son involucrados para propósitos de comparación en el desempeño de frenado, los resultados pudiesen mostrar cierto sesgo que, de alguna manera, debiesen ser ajustados. A fin de poder contrarrestar estadísticamente la influencia de estos factores, es necesario incrementar la cantidad de pruebas, situación que no es en todo caso posible, debido al desgaste agresivo que experimentan los elementos involucrados en el frenado como son los rotores o tambores, las balatas (pastillas o zapatas), las llantas e incluso la misma carpeta asfáltica o superficie del camino donde se realizan

de manera repetida las acciones de frenado. Por ello, cuanto más se incremente la cantidad de pruebas de frenado de esta naturaleza, estos elementos se degradarán principalmente por la fricción y el calor generado, con los cual puedan cambiar sus propiedades, trayendo como resultado que las distancias de frenado varíen de manera importante entre unas y otras aparentemente bajo las mismas condiciones de superficie de rodamiento, condiciones de la superficie, velocidad inicial e intensidad del frenado.

Debido a estas inconsistencias, se vuelve relevante contar con un sistema o mecanismo capaz de accionar el pedal de freno de manera automática y repetible aplicando una fuerza controlada de acuerdo al requerimiento de la prueba.

1.1 Sistemas de frenos de vehículos automotores

En los automóviles y vehículos de carga ligera usualmente se encuentran dos tipos de frenos: el freno de servicio y el freno de estacionamiento. El primero es el freno principal accionado por el conductor a través del pedal de freno y que pone en operación los mecanismos de frenado en las cuatro ruedas que deben en principio reducir y controlar la velocidad del vehículo, evidentemente, cuando este se encuentra en movimiento. En contraparte, el freno de estacionamiento es el mecanismo que permite, en ausencia del conductor, mantener el vehículo inmovilizado tanto en una superficie horizontal como en una superficie inclinada; el sistema de freno de estacionamiento puede ser activado por medio de un pedal o de una palanca, es esencialmente de accionamiento mecánico y solo se aplica a las ruedas traseras del vehículo.

En los vehículos automotores de carga debe existir también el freno de emergencia cuya función es, en caso de fallar el freno de servicio, detener al vehículo en una determinada distancia. Este freno es accionado por el conductor desde su posición siendo capaz de mantener el control del volante al menos con una mano, mientras acciona este freno con la otra.

1.2 Frenos del vehículo

Todo vehículo automotor de carretera debe disponer, por normativa, de un sistema de frenos principal conocido como freno de servicio y un sistema de estacionamiento netamente mecánico. Para el caso particular de los vehículos de carga pesada, estos deben contar con un sistema de frenos de emergencia, el cual usualmente está relacionado con el sistema de freno de estacionamiento.

El sistema de frenos de servicio de un vehículo —comandado por el pedal de freno— permite que este reduzca progresivamente su velocidad —desacelere—, se detenga completamente o evite que se desplace. En los dos primeros casos, la velocidad está involucrada por lo que hay presencia de energía cinética que debe ser extraída por algún medio. La extracción o transformación de la energía cinética ocurre a través de la fricción desarrollada por la acción de frenado con la cual se ponen en contacto dos superficies: una en movimiento rotativo —llanta unida a la

rueda que puede ser un rotor (disco) o un tambor— y otra fija —pastilla o zapatas montadas en un elemento de sujeción—. Al darse el contacto entre estas superficies —pastilla vs rotor (disco) o zapata vs tambor— se produce fricción lo que origina que la energía cinética del vehículo —en relación directa con la rotación de las llantas y ruedas— se transforme en energía calorífica. El calor generado eventualmente se transfiere por conducción, radiación y convección a los elementos circundantes al sistema de frenos en las ruedas con lo cual la temperatura de ellos se incrementará. El sistema de frenos de todo vehículo debe ser diseñado y fabricado de manera que garantice que el frenado se realice en las mejores condiciones de seguridad dentro de las cuales están el tiempo de respuesta, la distancia de frenado y la estabilidad direccional del vehículo, independientemente de la velocidad del vehículo, su nivel de carga y las condiciones de la carretera, particularmente aquellas que afectan el índice de fricción y la adherencia entre las llantas y la superficie de rodamiento. Aunque la fuerza de frenada aplicada por el sistema de frenos a los elementos que se encuentran en movimiento relativo es proporcional a la fuerza aplicada por el conductor sobre el pedal de freno, dicha fuerza de frenada siempre debe ser, en todo momento, menor al límite de adherencia entre las llantas y la superficie de rodamiento a fin de evitar que las estas deslicen y se presente una pérdida de estabilidad y/o control direccional del vehículo.

En general, los sistemas de frenos en los vehículos de carretera transfieren, a través de un fluido, la fuerza o presión ejercida por el conductor en el pedal del freno hacia los componentes que serán puestos en contacto y con ello desarrollan una fuerza de fricción. El fluido pueden ser un líquido especial —frenos hidráulicos— o el aire —frenos neumáticos—. Existen también sistemas de frenos con interfaces entre estos fluidos configurando aquellos llamados frenos hidroneumáticos. Adicionalmente y de reciente surgimiento con las nuevas tecnologías de propulsión de vehículos de carretera que han dado lugar a vehículos eléctricos e híbridos —vehículos cuyo sistema de propulsión está conformado por un motor de combustión interna y un motor eléctrico— han surgido sistemas de frenos eléctricos o electromagnéticos algunos de ellos del tipo regenerativo —recuperan la energía cinética del vehículo convirtiéndola en energía eléctrica y almacenándola en elementos comunes como la batería o en elementos especiales como los supercapacitores—.

1.3 Frenos hidráulicos

Esencialmente, en un sistema de frenos hidráulicos se manifiesta la Ley de Pascal¹ por lo que la fuerza ejercida por el pie del conductor sobre el pedal del freno genera una presión en el líquido del sistema de frenos la cual se transmite por las mangueras y tubería hasta llegar al mecanismo de frenado donde se generan las fuerzas de fricción entre los elementos con movimiento rotacional relativo por lo que tiende a reducirse dicho movimiento, disminuyendo por tanto la velocidad de rotación de las llantas y eventualmente se deteniendo la marcha del vehículo. Los automóviles y vehículos de carga ligera —de cuatro ruedas— utilizan principalmente los frenos hidráulicos con los cuales se accionan pastillas y zapatas para detener el giro del rotor y del tambor, respectivamente, y por consecuencia detener el giro de las ruedas del vehículo que están unidas a ellos. La Figura 1.1 muestra un esquema con los elementos generales de un sistema de frenos hidráulicos de un vehículo de cuatro ruedas, empleados en automóviles y vehículos de carga ligera. Adicional a los elementos del sistema de frenos mencionados líneas arriba en este esquema puede identificarse un elemento colocado entre el pedal de freno y la bomba de freno —que contiene el líquido de frenos—. Dicho elemento es conocido como amplificador o “*booster*” el cual precisamente amplifica la fuerza ejercida por el conductor la cual es aplicada a la bomba de frenos. Dicha amplificación se logra a través del apoyo del sistema de vacío generado por el motor del vehículo. Aunque muchos automóviles o vehículos de carga ligera utilizan la configuración de frenos delanteros con disco/pastilla y frenos traseros con tambor/zapatas, vehículos con mayores prestaciones o de gama alta utilizan frenos de disco —o rotor— en las cuatro ruedas. De hecho, la gran mayoría de los vehículos previos a los años sesenta utilizaban frenos de tambor en las cuatro ruedas.

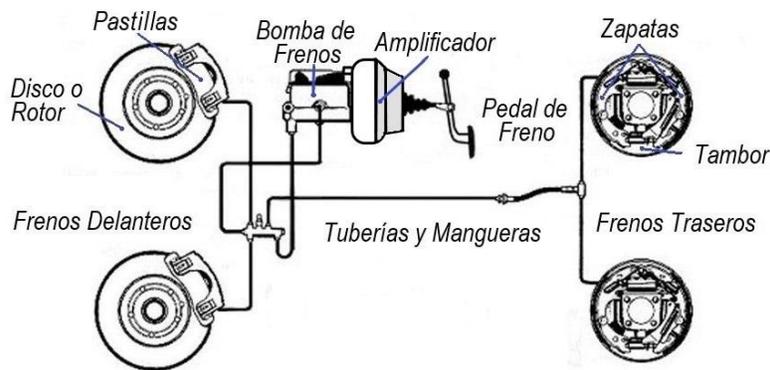


Figura 1.1 Sistema de frenos hidráulicos de un automóvil

¹ Una presión externa aplicada a un fluido confinado se transmite uniformemente a través del volumen del líquido. (Tippens, 2011)

1.4 Frenos neumáticos

Los vehículos de carga pesada utilizan predominantemente el sistema de frenos de aire o neumáticos en los cuales se emplea el aire comprimido como medio para transmitir la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal de freno. La forma en la que se produce la disminución progresiva y controlada de la velocidad de vehículo o su detención total es similar a lo que sucede en un sistema de frenos hidráulicos. Los elementos que generan las fuerzas de fricción —previo a las llantas— siguen siendo la interacción entre rotor/pastilla y tambor/zapatitas. No obstante, existe una importante diferencia entre los elementos o componentes utilizados entre uno y otro sistema de frenos. La Figura 1.2 muestra una configuración típica de un sistema de frenos neumático utilizado en un vehículo de carga pesada de cuatro ruedas.

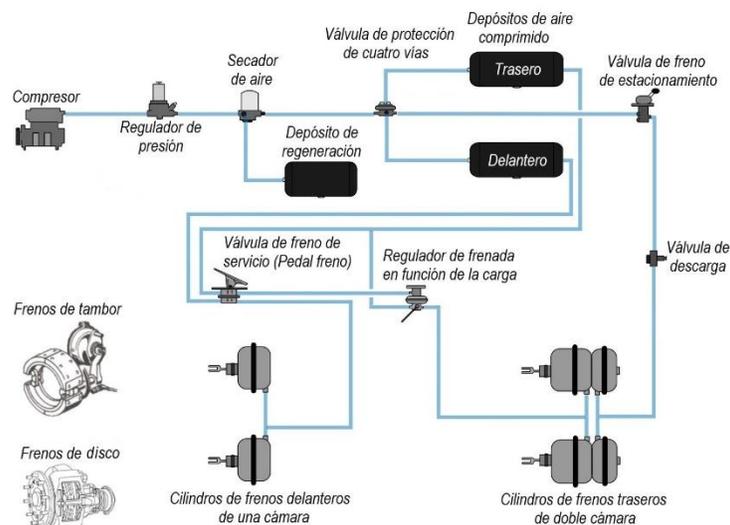


Figura 1.2 Sistema de frenos neumáticos de un vehículo de carga pesada

2. Normativas aplicables a los sistemas de frenos, sus componentes y desempeño

Las normativas y estándares persiguen entre otros aspectos lograr la intercambiabilidad de componentes y sistemas, independientemente del lugar de fabricación o del lugar de comercialización de estos, facilitando con ello el proceso de homologación. Este proceso puede implicar evaluaciones de rendimiento, de desempeño o de resistencia ya sea del sistema o del dispositivo en el cual se instala este. Adicionalmente, los marcos normativos buscan mantener la competitividad, la equidad y la seguridad. Esta última en apego al respeto por las vidas humana, animal y vegetal.

El rubro específico de los sistemas de frenos de los vehículos automotores de carretera, sus componentes y su desempeño puede estar regido por normativa nacional, regional o internacional. A nivel nacional, el marco normativo de México está conformado por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son *“regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedida por las Autoridades Normalizadoras competentes cuyo fin esencial es el fomento de la calidad para el desarrollo económico y la protección de los objetivos legítimos de interés público previstos en este ordenamiento, mediante el establecimiento de reglas, denominación, especificaciones o características aplicables a un bien, producto, proceso o servicio, así como aquéllas relativas a terminología, marcado o etiquetado y de información”* (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2020), y los Estándares que son *“documentos técnicos que prevén un uso común y repetido de reglas, especificaciones, atributos o métodos de prueba aplicables a un bien, producto, proceso o servicio, así como aquéllas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado, etiquetado o concordaciones”* según se establece en (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2020). Anteriormente, como estaba estipulado en la abrogada Ley Federal sobre Metrología y Normalización, los estándares eran identificados como Normas Mexicanas (NMX).

En el marco normativo mexicano se pueden identificar diversas regulaciones técnicas (NOM) y documentos técnicos (NMX) cuyo contenido considere de una forma u otra el tema de frenos de vehículos automotores de carretera. Por ejemplo, la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017 Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, menciona las palabras “freno” o “frenos” veintiocho veces refiriéndose a términos o tecnologías como sistema antibloqueo de frenos, sistemas de ajuste automático de frenos, freno auxiliar de motor o retardador, frenos libre de fricción, freno de servicio, frenos de tambor, frenos de disco y cámaras de frenado de doble acción. Particularmente,

esta NOM establece en los apartados 5.2.6, 5.2.7, 5.2.8 y 5.2.9 la obligatoriedad de que diversas configuraciones vehiculares de vehículos de carga y de pasaje deban incorporar las tecnologías de frenos auxiliar, sistema antibloqueo de frenos, cámaras de frenado de doble acción y sistema de ajuste automático de frenos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). NOM-012-SCT-2-2017, 2017). Otras NOM que mencionan y reglamentan los elementos, los sistemas y el desempeño de los frenos de vehículos automotores de carretera son la NOM-068-SCT-2-2017, la NOM-035-SCT-2-2010 y la NOM-113-SCFI-1995. En la Tabla 2.1 se muestran las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que tratan el tema de frenos en vehículos automotores de carreteras, sean ligeros o pesados, de carga o de pasajeros.

Tabla 2.1 Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

NOM	Título
NOM-012-SCT-2-2017	Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal
NOM-035-SCT-2-2010	Remolques y semirremolques — Especificaciones de seguridad y métodos de prueba
NOM-053-SCT-2-2010	Transporte terrestre — Características y especificaciones técnicas y de seguridad de los equipos de las grúas para arrastre, arrastre y salvamento
NOM-067-SCT-2/SECOFI-1994	Transporte terrestre-servicio de autotransporte económico y mixto-midibus — Características y especificaciones técnicas de seguridad
NOM-068-SCT-2-2014	Transporte terrestre-Servicio de autotransporte federal de pasaje, turismo, carga, sus servicios auxiliares y transporte privado — Condiciones físico-mecánica y de seguridad para la operación en vías generales de comunicación de jurisdicción federal
NOM-113-SCFI-1995	Líquido para frenos hidráulicos empleado en vehículos automotores — Especificaciones de seguridad y métodos de prueba
NOM-194-SCFI-2015	Dispositivos de seguridad esenciales en vehículos nuevos — Especificaciones de seguridad

En cuanto a las normativas de observancia no obligatoria o NMX, ahora conocidas como estándares de acuerdo con la Ley de la Infraestructura de la Calidad (LICal), se encuentra que en los registros del catálogo de normas del portal del Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad (SINEC) (Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad [SINEC], s.f.) existen 80 NMX relacionadas con el tema de frenos para vehículos automotores de carretera. Los diferentes documentos técnicos establecen especificaciones o métodos de prueba para los

diversos elementos en torno a los frenos para este tipo de vehículos. Dichos elementos son las pasta o forros de las balatas (pastillas o zapatas), líquidos de frenos, hules, gomas, mangueras, tubos, juntas y conectores, tanto para sistemas de frenos hidráulicos como neumáticos. Algunos de estos documentos técnicos establecen especificaciones de desempeño para el sistema de frenos en su conjunto como por ejemplo la distancia de frenado. Las fechas de publicación de estas NMX vigentes abarcan un lapso de 47 años. Las primeras normas o estándares sobre este tema comenzaron a publicarse en el año de 1970 (NMX-D-002-1970) y las más recientes lo hicieron en el año 2017 (NMX-D-315-IMNC-2015). Ejemplos de estos estándares, NMX o documentos técnicos vigentes se muestran en la Tabla 2.2. En la Tabla A1 de Anexos se muestra el total de los Estándares o Normas Mexicanas (NMX) relacionadas con este rubro reportados en el SINEC (Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad [SINEC], s.f.)

Tabla 2.2 Normas Mexicanas (NMX) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

NMX	Título
NMX-D-005-1980	Automóviles y camiones - frenos — método de prueba de sistemas de frenos para automóviles, camiones y autobuses
NMX-D-059-1995-SCFI	Automóviles y camiones-materiales de fricción-coeficiente de fricción — método de prueba
NMX-D-069-1977	Determinación de la resistencia al líquido para frenos hidráulicos a presión y temperatura elevadas de los sellos de hule
NMX-D-102-1995-SCFI	Industria automotriz - forros para frenos (balatas) - compresibilidad — método de prueba
NMX-D-148-1979	Determinación de la distancia de frenado en vehículos de hasta 2,727 kg de PBV
NMX-D-161-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos — prueba de fugas
NMX-D-190-1995-SCFI	Industria automotriz - balatas - resistencia al desprendimiento de frenos de disco y tambor — método de prueba
NMX-D-228-SCFI-2015	Criterios, procedimientos y equipo para la revisión de las condiciones físico-mecánicas de los vehículos automotores en circulación cuyo peso bruto vehicular no excede los 3 857 kg
NMX-D-257-CT-1989	Remolques y semirremolques - ejes sin tracción — prueba en dinamómetro para frenos
NMX-D-304-IMNC-2006	Autopartes-discos y tambores para frenos de automóviles y camiones ligeros — especificaciones de seguridad y métodos de prueba
NMX-D-313-IMNC-2015	Sistemas de frenos de aire
NMX-D-315-IMNC-2015	Material de fricción para sistema de frenos

Otro conjunto de normas nacionales, aunque correspondiente a los Estados Unidos de Norteamérica (EUA), primer socio comercial de México en el sector automotriz, son los Estándares Federales de Seguridad de los Vehículos de Motor o FMVSS (*Federal Motor Vehicle Safety Standards*) contenidos en la Parte 571 del Capítulo V del Subtítulo B del Título 49 del Código de Reglamentos Federales, CFR (*Code of Federal Regulations*) de los EUA (National Archives and Records Administration. Part 571, 2021). El marco legal de estos estándares de aplicación obligatoria en el mercado norteamericanos es análogo a de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de aplicación obligatoria en el mercado mexicano. Los FMVSS son redactados y publicados bajo la coordinación de la Administración Nacional de Seguridad de Tránsito de Carreteras o NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) que depende del Departamento de Transporte, DOT (*Department of Transportation*) de los EUA. Una descripción detallada de la reglamentación y normativas federales de los EUA se puede consultar en (Vázquez & et al., 2020). Los estándares FMVSS que establecen lineamientos sobre el tema de frenos en vehículos automotores de carretera son básicamente siete y se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Estándares norteamericanos (FMVSS) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

FMVSS 49 CFR	Título
§571.105	Sistemas de frenado hidráulico y eléctrico
§571.106	Tuberías de frenos
§571.116	Líquidos de frenos de autos
§571.121	Sistemas de frenos de aire
§571.122	Sistemas de frenos de motocicletas
§571.122a	Sistemas de frenos de motocicletas
§571.126	Sistemas de control electrónico de estabilidad para vehículos ligeros
§571.135	Sistemas de frenos de vehículos ligeros
§571.136	Sistemas de control electrónico de estabilidad para vehículos pesados

El Estándar No. 105 (§571.105) especifica los requerimientos tanto para el sistema de frenos hidráulicos y eléctricos de servicio, así como de los sistemas de freno de estacionamiento. Este estándar pretende garantizar un desempeño de frenado seguro tanto en condiciones normales como en condiciones de emergencia y aplica para vehículos de pasajeros, camiones de carga y autobuses cuyo Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD) sea mayor de 3500 kg y estén equipados con sistemas de frenado hidráulico o eléctrico según se puede identificar en (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.105, 2021).

El Estándar No. 106 (§571.106) señala los requerimientos de etiquetado y de desempeño de las tuberías y mangueras del sistema de frenos hidráulicos y neumáticos de los vehículos automotores, de sus ensambles, de sus conectores y

de sus accesorios. Los vehículos automotores incluyen a los automóviles, a los vehículos de pasajeros, a los camiones de carga, a los autobuses, a los remolques y a las motocicletas. Por medio de la aplicación de esta norma se pretende reducir las lesiones y muertes que se producen como resultado de la falla del sistema de frenos debido a la pérdida de presión o vacío por la ruptura de mangueras, tuberías o sus ensambles (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.106, 2021).

El Estándar No. 116 (§571.116) establece los requerimientos que deben cumplir tanto los líquidos de frenos utilizados en los sistemas de freno hidráulico como los recipientes que contienen dichos fluidos. Los requerimientos de etiquetado de dichos recipientes también están especificados en esta norma que aplica a los mismos vehículos enunciados en el estándar anterior. El propósito de este estándar es reducir las fallas en los sistemas de frenos hidráulicos debidas a la fabricación, uso inapropiado o contaminación de los diferentes tipos de líquidos de freno (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.116, 2021).

El Estándar No. 121 (§571.121) dicta los requerimientos de desempeño y equipamiento para los sistemas de frenado neumático —comúnmente referidos como frenos de aire— a fin de garantizar un comportamiento de frenado seguro tanto en situaciones normales como de emergencia, aplicando básicamente a camiones, autobuses y remolques (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.121, 2021).

Los Estándares Nos. 122 (§ 571.122) y 122a (§ 571.122a) establecen los requerimientos de desempeño de los sistemas de freno de las motocicletas en cuanto a los frenos de servicio y a los frenos de estacionamiento. El cumplimiento de los requerimientos garantizará un comportamiento de frenado seguro en condiciones normales y de emergencia (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.122, 2021) y (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.122a, 2021).

El Estándar No. 126 (§571.126) establece las condiciones y procedimiento de prueba, así como los requerimientos de desempeño y de equipamiento respecto a los sistemas de control electrónico de estabilidad —ESC, por sus siglas en inglés— que debe estar presente en un vehículo ligero y en los cuales el sistema de frenos es fundamental. El propósito de este estándar es reducir el número de fatalidades y lesionados ocasionados en choques de tránsito debidos a que el conductor pierde el control direccional de su vehículo, varios de ellos ocasionando el vuelco del vehículo e incrementado las fatalidades de los ocupantes. Este estándar aplica a automóviles, vehículos multipropósito —carga y pasaje— cuyo peso bruto vehicular de diseño es igual o menor de 4536 kg (10000 lb) (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.126, 2021).

El Estándar No. 135 (§571.135) especifica los requerimientos que deben cumplir los sistemas de frenos de servicio y frenos de estacionamiento con lo cual se garantizará un frenado seguro bajo condiciones normales y de emergencia para

todos aquellos automóviles, vehículos de pasajeros, camiones y autobuses de menos de 3500 kg de PBVD (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.135, 2021).

El Estándar No. 136 (§571.136) establece las condiciones y procedimiento de prueba, así como los requerimientos de desempeño y de equipamiento respecto a los sistemas de control electrónico de estabilidad —ESC, por sus siglas en inglés— que debe estar presente en un vehículo pesado y en los cuales el sistema de frenos es un elemento primordial. El propósito de este estándar es reducir los choques de tránsito ocasionados por vuelco o por la pérdida del control direccional del vehículo. Este estándar aplica a camiones unitarios, tractocamiones y autobuses cuyo peso bruto vehicular de diseño es superior a 11793 kg (26000 lb), salvo algunas excepciones establecidas en el mismo estándar (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.136, 2021).

Adicional a los estándares FMVSS anteriores, la NHTSA ha publicado en la Subparte A de la Parte 570 del Capítulo V del Subtítulo B del Título 49 del CFR estándares de inspección para los vehículos en circulación, atendiendo al tema de frenos en lo correspondiente al sistema de frenos de servicio (§ 570.5) y la unidad de potencia de frenado (§ 570.6), para vehículos con PBVD de hasta 4536 kg. En la Subparte B de esas mismas secciones aplicable para vehículos con PBVD de más 4536 kg, la NHTSA publica procedimientos de inspecciones en el sistema de frenos que tienen que ver con el sistema de frenos hidráulicos (§ 570.55); la unidad y el sistema de vacío para asistencia del frenado (§ 570.56); el sistema de frenos de aire y el subsistema de freno de aire dependiente de un circuito hidráulico —frenos hidroneumáticos— (§ 570.57); el sistema de frenado eléctrico (§ 570.58); y, el sistema de freno de servicio (§ 570.59), según se puede consultar en (National Archives and Records Administration. Part 570, 2021).

Algunos vehículos por sus años de fabricación pudieran estar exentos de cumplir con algunos de los estándares FMVSS. A fin de garantizar un tránsito seguro de esos vehículos, la Administración Federal de la Seguridad de los Transportistas, FMCSA (*Federal Motor Carrier Safety Administration*), dependiente también del DOT, publica regulaciones de seguridad para este sector. Estos estándares se encuentran publicados en diversas Partes del Subcapítulo B del Capítulo III del Subtítulo B del Título 49 del CFR como puede ser consultado en (National Archives and Records Administration. FMCSR, 2021). Particularmente los estándares asociados con el desempeño de los sistemas de frenado y sus componentes se establecen principalmente en la Subparte C de la Parte 393. La Tabla 2.4 resume los estándares de esta Subparte C “Frenos” (National Archives and Records Administration. Part 393, 2021).

Tabla 2.4 Regulaciones norteamericanas (FMCSR) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

FMCSR Part 393 Subpart C	Título
§393.40	Sistemas de frenos requeridos
§393.41	Sistemas de frenos de estacionamiento
§393.42	Frenos requeridos en todas las ruedas
§393.43	Falla de frenos y frenado de emergencia
§393.44	Línea de frenado frontal, protección
§393.45	Tuberías y mangueras de frenado, ensamble de tuberías y accesorios
§393.47	Actuadores de frenos, ajustadores de holgura, zapatas/pastillas y rotores/tambores
§393.48	Operatividad de los frenos
§393.49	Válvulas de control para frenos
§393.50	Depósito requerido de aire
§393.51	Señales de advertencia, presión de aire e indicadores de vacío
§393.52	Desempeño del frenado
§393.53	Ajustadores automáticos de frenos e indicadores de ajuste de frenos
§393.55	Sistema antibloqueo de frenos

Aun en el rubro de los estándares nacionales asociados al marco normativo de los EUA en el tema de frenos de vehículos automotores de carretera, pero de carácter no obligatorio, se encuentran los emitidos por la anteriormente llamada Sociedad de Ingenieros Automotrices, SAE (*Society of Automotive Engineers*) hoy SAE International (WIKIPEDIA. The Free Encyclopedia, 2021). Varios de los estándares son referenciados en diversas normas de la FMVSS. Análogo a la relación entre las FMVSS y las NOM, los estándares técnicos de la SAE (SAE J) tienen un paralelismo en su concepción y aplicación con las NOM. Los Estándares SAE referentes a frenos aplicables a la industria automotriz e industria de vehículos comerciales incluyen diversos tópicos como:

- Sistemas de frenos
- Componentes de freno
- Frenos de aire
- Forros de freno
- Fluidos de freno
- Líneas de freno
- Frenos de disco
- Pastillas de freno

- Sistemas de frenado electrónico
- Torque de frenado
- Frenos de tambor
- Pedales de freno
- Frenos antibloqueo
- Discos de freno
- Zapatas de freno
- Calipers de frenos
- Cilindros maestros de freno
- Cilindros de freno

La Tabla 2.5 muestra solo unos ejemplos de algunos de los estándares publicados por la SAE en el tema de los sistemas, componentes y desempeño de los frenos de vehículos automotores de carretera. En la Tabla A2 de Anexos se muestra una importante cantidad de los estándares vigentes y que han sido publicados por SAE International.

Pasando a las normas, estándares o reglamentaciones regionales, estos son documentos técnicos que también establecen especificaciones a nivel de elemento o componente, o bien, de requerimientos de cumplimiento y/o desempeño a nivel de producto y que son de vigilancia obligatoria en determinada región o aplicable para regiones o bloques comerciales específicos. Los reglamentos promovidos a través del Foro Mundial para la Armonización de la Reglamentación sobre Vehículos (WP.29), en el marco de la administración de tres acuerdos, son un ejemplo de ello. El Foro Mundial incorpora dentro de su marco regulatorio la armonización mundial de regulaciones vehiculares considerando las innovaciones tecnológicas de los vehículos automotores a fin de que esto sean más seguros y estén en armonía con el medio ambiente (United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. WP.29, 2021). Uno de estos acuerdos es el Acuerdo de 1958 el cual establece los marcos administrativo y técnico, referentes a la adopción de las reglamentaciones técnicas armonizadas de las Naciones Unidas para vehículos de ruedas, equipamiento y partes que puedan ser fijadas y/o utilizadas en los vehículos con ruedas y las condiciones para el reconocimiento mutuo entre las Partes Contratantes (United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. WP.29. VEHICLE REGULATIONS, 2021). A la fecha (2021) hay 57 Partes Contratantes de este Acuerdo y tiene anexa 164 reglamentaciones (United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. 1958 Agreement, 2021). De estas reglamentaciones nueve contienen pruebas o procedimientos atendiendo al tema de frenos o frenado de vehículos de carretera. La Tabla 2.6 resume el código de la regulación UNECE y el tema reglamentado.

Tabla 2.5 Estándares SAE (SAE J) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

SAE	Título
J135_201304	Requisitos de rendimiento del sistema de frenos de servicio: combinaciones de vehículos de pasajeros y remolques
J225_200304	Procedimiento de prueba de campo de distribución de la fuerza de frenado para camiones y autobuses
J294_201506	Procedimiento de prueba de integridad estructural de los frenos de servicio - Vehículos de más de 4500 kg (10000 lb) de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)GVWR
J299_200901	Procedimiento de prueba de distancia de frenado
J360_202008	Procedimiento de prueba de rendimiento de estacionado en pendiente para camiones y autobuses
J1476_201910	Procedimiento de prueba de la integridad estructural del freno de estacionamiento para vehículos de más de 4500 kg (10000 lb) de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD) — Camión y autobús
J1505_201107	Procedimiento de prueba de la distribución de la fuerza de frenado - Camiones y autobuses
J1626_201205	Procedimientos de prueba de rendimiento de frenado, estabilidad y control para camiones, tractocamiones y autobuses equipados con frenos de aire e hidráulicos
J2536_201111	Procedimiento de evaluación del sistema de frenos antibloqueo (ABS) en carretera para camiones, tractocamiones y autobuses
J2684_201812	FMVSS 105. Procedimiento de prueba del dinamómetro de frenos de inercia para vehículos de más de 4540 kg de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)
J2909_201806	Procedimiento de prueba de distancia de frenado de vehículos ligeros en seco y en mojado
J3087_201710	Pruebas de rendimiento del sistema de frenado automático de emergencia (AEB)

Tabla 2.6 Normas europeas de Naciones Unidas (UNECE) que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

UN/ECE- UNECE-	Tema reglamentado
R13	Frenado de vehículos pesados
R13H	Frenado de vehículos de pasajeros
R78	Frenado de motonetas y motocicletas de dos y tres ruedas
R90	Reemplazo de partes y componentes del sistema de frenos
R131	Sistemas avanzados de frenado de emergencia (AEBS —Advanced Emergency Braking Systems—)
R139	Sistemas de asistencia de frenado (BAS —Brake Assist Systems—)
R140	Sistemas electrónicos de control de estabilidad (ESC —Electronic Stability Control—)
R152	Sistema Avanzado de Frenado de Emergencia (AEBS —Advanced Emergency Braking System—)
R154	Procedimiento de prueba para la homologación mundial de vehículos ligeros (WLTP —Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure—)

En el mismo contexto de los acuerdos administrados por el WP.29, el acuerdo de 1997 establece la adopción de condiciones uniformes para la inspección técnica periódica de vehículos de ruedas, así como el reconocimiento recíproco de dichas inspecciones a través de certificados internacionales de inspección entre las diversas Partes Contratantes. A la fecha (2021) hay 13 Partes Contratantes de este acuerdo y 17 signatarios pendientes de ratificación del mismo, (Economic and Social Council. United Nations. 1997 Agreement, 2021). Este acuerdo anexa cuatro Reglas de inspecciones técnicas periódicas, de las cuales solo una —Regla 2— establece procedimientos de inspección y especificaciones relacionados con el sistema de frenos de los vehículos de carretera (United Nations. Rule No. 2, 2018). Finalmente, el tercer acuerdo administrado por el WP.29, corresponde al Acuerdo de 1998 donde se contempla la implantación y adopción de Reglamentos Técnicos Mundiales, GTR (*Global Technical Regulations*), para vehículos con ruedas, equipamiento y partes que puedan estar fijas o ser utilizadas en los vehículos con ruedas. A este acuerdo lo siguen 38 Partes Contratantes y tiene anexas 21 GTR (United Nations. Economic and Social Council. ECE/TRANS/WP.29/1073/Rev.31, 2021) de las cuales solo dos tratan el tema de frenos. Estas son la UN GTR No. 3 que específicamente lo hace para el sistema de frenos de motocicletas (United Nations. Global Registry. GTR No. 3, 2006) y la UN GTR No. 8 la cual se refiere a los sistemas de control de estabilidad (United Nations. Global Registry. GTR No. 8, 2008).

En lo referente a las regulaciones de carácter internacional, es decir, aquellos estándares generados y publicados por organismos internacionales de normalización o certificación tales como el Organismo Internacional de Normalización ISO (*International Organization for Standardization*) del cual México es miembro y cuya participación es coordinada por la Dirección General de Normas —DGN— de la Secretaría de Economía —SE— (*International Organization for Standardization* [ISO], 2021), México reconoce y adopta (en la medida de sus necesidades) los estándares ISO. En materia del tema de frenos —elementos, componentes o sistemas— o de su desempeño, existe una importante cantidad de estándares ISO. Algunos de estos se muestran en la Tabla 2.7, mientras que una lista mayor de estos estándares se presenta en la Tabla A3 de la sección de Anexos de esta publicación.

Tabla 2.7 Estándares ISO que regulan el desempeño de los sistemas de frenos de vehículos automotores de carretera, sus componentes o sus elementos

Estándar	Título o tópico reglamentado
ISO 611:2003	Vehículos de carretera — Frenado de vehículos automotores y sus remolques — Vocabulario
ISO 4925:2020	Vehículos de carretera — Especificación de líquidos de frenos no derivados del petróleo para sistemas hidráulicos
ISO 6310:2009	Vehículos de carretera — Forros de freno — Métodos de prueba de deformación por compresión
ISO 6597:2005	Vehículos de carretera — Dispositivos de frenado hidráulico, incluidos los que tienen funciones de control electrónico, para vehículos de motor — Procedimientos de prueba
ISO 6786:1980	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado de aire — Identificación de las conexiones en las unidades
ISO 7975:2019	Automóviles de pasajeros — Frenado en curva — Método de prueba de lazo abierto
ISO 8710:2010	Motocicletas — Sistema de freno y frenos — Métodos de medición y prueba
ISO 12161:2006	Vehículos de carretera — Resistencia de los sistemas de frenado de vehículos de motor y vehículos remolcados — Procedimientos de prueba
ISO 14512:1999	Automóviles de pasajeros — Frenado en línea recta en superficies con coeficiente de fricción dividido — Procedimiento de prueba de lazo abierto
ISO 14794:2011	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Frenado en curva — Métodos de prueba de lazo abierto
ISO 16234:2006	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Frenado en línea recta en superficies con coeficiente de fricción dividido — Método de prueba de lazo abierto

3. Control de la acción de frenado

Es evidente de la normativa nacional, regional o internacional que hay normas en las cuales se establecen las especificaciones y los requerimientos técnicos de elementos y componentes específicos que conforman el sistema de frenos. Por ejemplo, para el caso del sistema de frenos hidráulicos hay normas o estándares que especifican las propiedades del líquido empleado en este tipo de sistema de frenos, qué temperatura deben soportar sin degradarse, si son o no destilados del petróleo, la forma en que deben ser almacenados e incluso las características de etiquetado de los recipientes que los contendrán. Otro ejemplo son las características de las gomas o hules presentes en algunos elementos del sistema de frenos como cilindros. Las características y propiedades de los elementos friccionantes o forros de pastillas y zapatas empleados en las balatas, las presiones, fuerzas y temperaturas que deben soportar sin degradarse. Hay también regulaciones que establecen el desempeño o rendimiento que debe mostrar el sistema integral de frenos en términos de pruebas de distancias de frenado, potencia de la frenada, desaceleraciones esperadas, etc. Es en esta última instancia donde el desarrollo de pruebas de frenado bajo diferentes condiciones de carga, velocidades iniciales y condiciones tanto de la superficie de rodamiento como del piso de las llantas permiten evaluar el desempeño o rendimiento de una frenada. El procedimiento básico es llevar el vehículo hasta determinada velocidad, desembragarlo y aplicar de manera súbita el pedal de freno. Algunas normas establecen determinada intensidad de frenado o fuerza aplicada sobre el pedal de freno, incluso hay algunos estándares que requieren determinadas condiciones iniciales de balatas (pastillas o tambores), discos y tambores en términos de condiciones de la superficie y de intervalos de temperaturas de evaluación.

Las pruebas de frenado son realizadas tratando de controlar diferentes variables del entorno como la velocidad de inicio de frenada, la condición de la superficie de rodamiento, el tipo y grado de desgaste de llantas, las temperaturas de balatas, discos y rotores, el nivel de carga del vehículo, la temperatura ambiente, la velocidad del viento, las características geométricas de la zona de frenado, el control de la dirección del vehículo de prueba, el bloqueo o no de llantas y la forma e intensidad del frenado, entre otras. Ciertamente, no es posible controlar todas ellas y por tanto habrá variabilidad en las diferentes frenadas realizadas aparentemente bajo las mismas condiciones. Esta variabilidad debe ser tratada estadísticamente por lo que, para cuantificarla, es necesario incrementar la cantidad de repeticiones. Sin embargo, si la frenada realizada a fondo y de manera súbita ocasiona que las ruedas sean bloqueadas, generando deslizamiento y por tanto pérdida de la estabilidad direccional del vehículo, las llantas sufrirán un desgaste acelerado por el rozamiento de estas sobre la superficie de rodamiento. Después de varias acciones de frenado con estas características, las llantas resultarán seriamente

afectadas con lo cual las distancias de frenado pudiesen ser aún más variables. Dependiendo del nivel de carga depositado en cada una de las llantas, estas pudiesen incluso destruirse o estallar, de manera que el conductor deberá estar atento a esta eventualidad. Aun cuando los factores externos al vehículo, enunciados anteriormente, pudiesen estar bajo control, el factor conductor —en pruebas de frenado no automatizadas— permanece y es clave en la variabilidad de los resultados.

La magnitud de la fuerza aplicada sobre el pedal de freno es proporcional a la fuerza de la frenada ejercida por los elementos de freno sean estas las pastillas sobre los discos o las zapatas sobre los tambores y, finalmente, sobre cada una de las ruedas del vehículo. A fin de poder cuantificar la intensidad del esfuerzo aplicado por el conductor sobre el pedal del freno, es necesario instalar sobre este algún dispositivo o dispositivos —sensor e indicador, por ejemplo— que permitan medir y mostrar la fuerza de frenado aplicada por el pie del conductor. Conocida la fuerza generada por el conductor, este podrá entonces dosificar el esfuerzo o buscar una determinada magnitud de intensidad de su frenada. Las imágenes mostradas en la Figura 3.1 muestran algunos ejemplos de sensores de fuerza que pueden ser instalados sobre el pedal del freno.



Figura 3.1 Ejemplos de sensores de fuerza para instalarse sobre el pedal del freno

Lograr controlar la fuerza ejercida sobre el pedal del freno es una actividad no simple para un conductor ya que dependerá de que este se habitúe a ello al tener que procesar información múltiple como vigilar la velocidad inicial de la frenada, desembragar la transmisión del vehículo, dosificar la presión de su pie sobre el pedal del freno o mantenerla en determinado valor y controlar una trayectoria segura descrita por el vehículo, procurando mantener la estabilidad o trayectoria del vehículo o vigilar esta de manera que el riesgo de inestabilidad no se convierta en peligro de salida de pista. Hay normativas de frenado en las cuales se establece algún valor de la fuerza que debe ser aplicada sobre el pedal de freno como en la FMVSS 571.105 (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.105, 2021), en la UNECE R13 (United Nations. Regulation No. 13 Rev. 8, 2014), en la UNECE R13H (United Nations. UN Regulation No. 13-H. Rev.4, 2018) o en la NMX-D-005-1980 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. NMX-D-5-1980, 1980). En algunas de estas incluso se establece alguna magnitud de tiempo dentro del cual se debe aplicar por completo el freno o mantener la fuerza de frenada. Por esta razón, algunas normas —como en la UNECE R13H— indican en su procedimiento de prueba que en lo referente a la fuerza ejercida sobre el pedal del freno esta debe ser aplicada y controlada por un conductor experimentado o por un mecanismo actuador del pedal de freno.

4. Sistemas para automatizar el frenado

A fin de minimizar la variabilidad de resultados en pruebas de frenado de vehículo, la acción de frenar debe realizarse por un conductor con experiencia o bien por un sistema robotizado o automatizado para la aplicación de la fuerza de frenado sobre el pedal correspondiente en los tiempos y magnitudes requeridas. Se pueden encontrar comercialmente sistemas de frenado automático que van desde sistemas altamente automatizados o robotizados hasta sistemas sencillos que no requieren más que accionar simplemente el pedal del freno.

4.1 Sistemas robotizados sin requerimiento de conductor

Algunos centros de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) vinculados con el sector automotriz o directamente siendo parte de las empresas automotrices o de autopartes emplean sistemas de control altamente automatizados o robotizados para la realización de pruebas de desempeño o rendimiento de los diferentes sistemas presentes en un vehículo. Varias de las automatizaciones están orientadas a los vehículos autónomos o al desarrollo de los sistemas de seguridad pasiva. La evaluación o validación de sistemas del vehículo que impliquen el desempeño del sistema de frenos o como parte de algún procedimiento que requiere de la aplicación controlada de los frenos, emplean sistemas automatizados que sencillamente deben presionar, aunque en un determinado tiempo y con una intensidad específica, el pedal de frenos, con el conductor a bordo o de manera totalmente autónoma. Esta última forma de realizar el frenado es ejecutada por todo un sistema de control robotizado que realiza otras acciones de control en los otros pedales —acelerador y embrague (en caso de ser un vehículo con transmisión manual)—, en la transmisión —realización de cambios de velocidad— y en el volante —control de la dirección y trayectoria del vehículo—. La imagen de la Figura 4.1 muestra un ejemplo del sistema automatizado de control de pedales y volante desarrollado por la empresa alemana *STÄHLE Robot Systems GmbH* (STÄHLE Robot Systems, 2021). El modelo de este sistema robotizado para el manejo autónomo de un vehículo de pasajeros es el SFP2000FF —*Robot System for Autonomous Driving of Passenger Cars*—. Evidentemente el conductor humano no es requerido. Por lo anterior, al retirar el factor humano —piloto— de la ecuación, la utilización de este tipo de sistemas garantiza la reproducibilidad y la repetibilidad de pruebas con lo cual se evalúan con mejor objetividad el desempeño de algún sistema del vehículo o, de manera integral, el desempeño de todo el vehículo, bajo determinadas condiciones de manejo, velocidad, aspectos del entorno y duración de la prueba. Algunos de estos sistemas también son utilizados en maniobras

extraordinarias que pudiesen poner en riesgo la integridad o salud de un conductor humano sometiéndolo a conducciones extenuantes, agresivas o de larga duración donde su fatiga pudiese manifestarse invalidando con ello alguna prueba en particular.



Figura 4.1 Sistema robotizado para control de pedales y volante en un vehículo

La imagen de la Figura 4.2 muestra otro sistema que, aunque robotizado, no tiene participación en el control del volante y por lo tanto tampoco en la trayectoria del vehículo. El sistema es ofrecido por la empresa, también alemana, *AiP automotive GmbH* (AiP automotive, 2021) y tiene el sistema denominado *JAMES* para el cual existe la versión que controla los tres pedales —acelerador, freno y embrague— y la palanca de velocidades —*JAMES*—; y aquel que solo controla los pedales —*P-JAMES*— (AIP GmbH & Co., 2021).

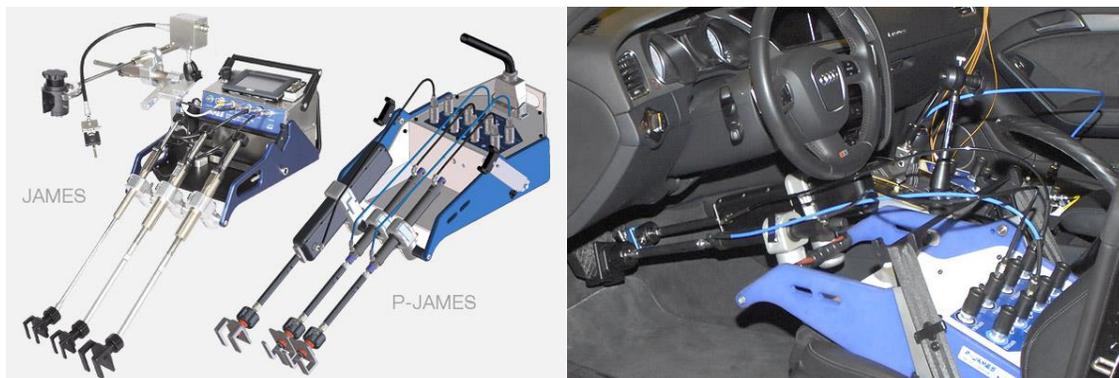


Figura 4.2 Sistema robotizado para control de pedales con palanca de velocidades (izquierda) y solo pedales (derecho)

Es claro de la figura anterior que este sistema ocupa todo el asiento del conductor por lo cual no habrá piloto para las pruebas a realizar. En este sentido, las pruebas deben realizarse o sobre una pista en trayectoria recta donde de alguna forma se garantice el confinamiento del vehículo sobre dicha trayectoria o bien los ensayos se realizan en algún banco de pruebas con el vehículo inmovilizado —como por ejemplo un dinamómetro de rodillos—. En ambos casos, lo que se evalúa es el accionar de los elementos de control —pedales y palanca de velocidades— y la respuesta del vehículo; muy probable es que también sean pruebas de muy larga

duración y repetibilidad, donde la monotonía y fatiga pudiesen ser desgastantes para un conductor humano.

Sistemas de control robotizados donde no es posible que un conductor humano ocupe el asiento y que por tanto las pruebas son realizadas totalmente por el sistema automatizado se muestran en las imágenes de la Figura 4.3. La imagen 1 de esta figura es un sistema desarrollado por la empresa alemana *De Maturo GmbH* y el modelo corresponde al *Robot System R-AB* (maturo GmbH, 2021). La imagen 2 es el robot desarrollado por la empresa francesa *GreenMot* (greenmot, 2021). Finalmente, las imágenes 3 y 4 corresponden a sistemas desarrollados por la empresa *STÄHLE Robot Systems GmbH*, correspondientes al actuador del pedal de freno *ACTUATOR AP-B/FR.10* (STÄHLE ROBOT SYSTEMS. ACTUATOR AP-B/FR.10, 2021) y sistema de autopiloto de control de transmisión para vehículos de carga (STÄHLE ROBOT SYSTEMS. AUTOPILOT SAP2000T, 2021), respectivamente.

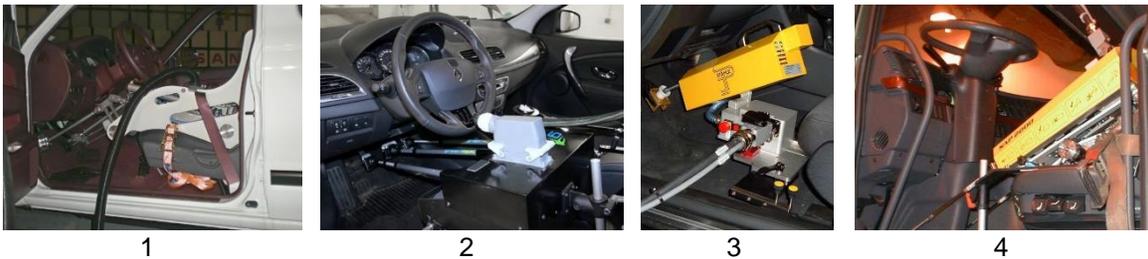


Figura 4.3 Sistema robotizado para control de pedales con palanca de velocidades (izquierda) y solo pedales (derecho)

4.2 Sistemas automatizados con presencia de conductor

Determinadas pruebas de desempeño de los vehículos automotores de carretera requieren de la conducción y control del vehículo sobre la pista. Pruebas particulares —como de aceleración y/o frenado— requieren específicos tiempos, formas e intensidades de presionar los pedales, sin embargo, en tanto que el vehículo es posicionado en las zonas específicas de prueba este debe ser conducido manualmente por el conductor y por ello la necesidad de que esté presente en el vehículo. Las únicas maneras de que la acción de frenado o aceleración sean ejecutadas con una repetibilidad y reproducibilidad garantizada, apegados a determinadas normativas o procedimientos que minimicen la variabilidad o dispersión de las mediciones es contar en primer lugar con un dispositivo que cuantifique la magnitud de la frenada y con un piloto especializado que posea una amplia experiencia en ese tipo de pruebas. O bien, contar con un mecanismo que no solo mida la fuerza aplicada al pedal del freno, sino que también la aplica de una manera controlada. Es por ello que se han desarrollado y comercializado sistemas automatizados para frenado. Una de las empresas especialista y líderes en los sistemas de pruebas en vehículos de carretera es *Anthony Best Dynamics Limited* —*AB Dynamics*— (AB Dynamics, 2021) con sede en Inglaterra. Algunos de sus productos aplicables para pruebas en pista son los robots para pedales que

usualmente son complementados con los robots para el sistema de dirección. A lo largo del tiempo han desarrollado diversos sistemas robotizados para el control de pedales, principalmente para el acelerador y para el freno, los cuales además de oprimir los pedales, cuantifican la magnitud de la fuerza aplicada en ellos. Algunas de las primeras versiones del sistema automatizado para el pedal del freno se muestran en la Figura 4.4. Estos son esencialmente mecanismos integrados por una palanca, un brazo y una celda de carga, todo ello accionado por un pistón hidráulico. La disposición de estos sistemas dentro del espacio entre el asiento del conductor y los pedales permite que el conductor pueda ubicarse en su asiento y tener el control del volante. Solo en los sistemas mostrados en las imágenes central y derecha de la Figura 4.4 se puede observar que el conductor pudiera tener control también sobre el pedal de freno donde están instalados estos sistemas.

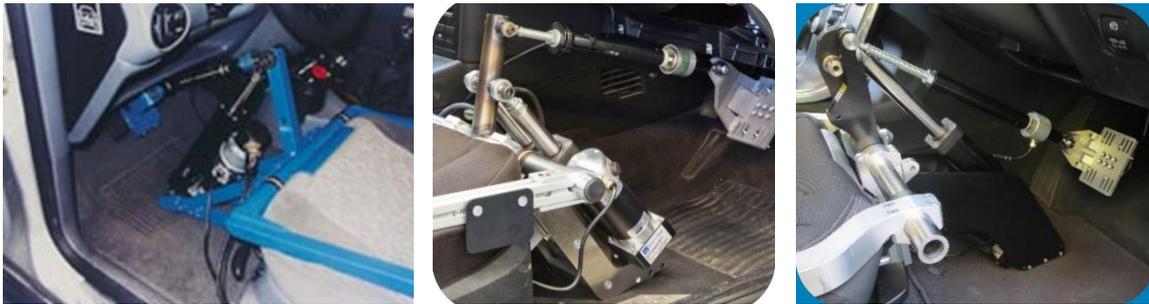


Figura 4.4 Sistemas electro-hidráulicos para el accionamiento del pedal del freno

La evolución en la mecánica y la electrónica de control ha permitido migrar de sistemas de accionamiento hidráulico a sistemas de accionamiento eléctrico al integrar motores eléctricos para la activación del mecanismo que oprime los pedales. Una de las principales ventajas de utilizar este tipo de accionamiento por medio de motores eléctricos es un mejor control en los tiempos de respuesta del comando de frenado. La Figura 4.5 muestra este tipo de sistemas de accionamiento para el pedal de freno.



Figura 4.5 Sistemas que integran motores eléctricos para el accionamiento del pedal de freno

Las imágenes de la Figura 4.6 muestran la instalación de un sistema de control de pedales —acelerador y freno— de accionamiento eléctrico con el conductor ubicado sobre su asiento y teniendo también control sobre estos pedales. Este sistema

corresponde al denominado Robot Combinado de Freno y Acelerador, CBAR (*Combined Brake and Accelerator Robot*) de *AB Dynamics*.



Figura 4.6 Sistema combinado de control de acelerador y freno —CBAR— de *AB Dynamics*

STÄHLE tiene desarrollado un sistema de frenado de emergencia denominado actuador de freno de emergencia P-A1316 (STÄHLE ROBOT SYSTEMS. P-A1316, 2021) cuyo principal uso es mantener la seguridad de vehículos que no llevan conductor y que por tanto incorporan un sistema redundante de frenado. En caso de ocurrir alguna situación de emergencia como una pérdida de comunicación, tan pronto esta falla suceda un pistón neumático es activado para presionar el pedal del freno y producir la detención del vehículo. El sistema puede ser configurado para generar varias fuerzas de frenado. La fuerza típica necesaria para accionar el sistema de frenos ABS es de 300 N. La Figura 4.7 muestra una imagen del actuador de freno de emergencia P-A1316.



Figura 4.7 Actuador de freno de emergencia P-A1316 de *AB Dynamics*

Similar a lo desarrollado por *AB Dynamics*, existe otro consorcio que desarrolla productos para la I+D+i del sector automotriz en las áreas de pruebas controladas en pista, conducción automática, control automático de sistemas del vehículo, comunicaciones y en la evaluación de las tecnologías de seguridad activa. Esta empresa alemana denominada *VEHICO* (VEHI.CO, 2021) tiene desarrollados sistemas robotizados para el control del vehículo, desde el volante hasta los pedales. En cuanto al caso específico de sistemas de control de pedales, *VEHICO* comercializa diversos sistemas. La Figura 4.8 es un sistema combinado de control de pedales de acelerador y freno CC800 —análogo al CBAR de *AB Dynamics*— el cual es capaz de generar una fuerza de hasta 800 N en el pedal del freno y de hasta 200 N en el pedal del acelerador con velocidades de opresión de pedales de hasta

100 cm/s en el pedal de freno y de 50 cm/s en el pedal del acelerador, con desplazamiento de máximo en el pedal de freno de 200 mm (VEHI.CO Combined Brake and Accelerator Robot, s.f.).



Figura 4.8 Sistema robotizado combinado acelerador-freno CC800 de VEHI.CO

La Figura 4.9 corresponde al sistema de freno robotizado CB2100 capaz de desarrollar una fuerza en el pedal del freno de hasta 2000 N con velocidad de desplazamiento de este pedal de hasta 120 cm/s (VEHI.CO Brake RObot, 2021).



Figura 4.9 Sistema de freno robotizado CB2100 de VEHI.CO

VEHICO también tiene en su cartera de productos sistema de pedal multipropósito CP800 (VEHI.CO Multipurpose Pedal Robot, 2021) y que puede ser instalado en la mayoría de los vehículos. Las prestaciones de este sistema son idénticas a las indicadas para el pedal del freno en el sistema combinado CC800, enunciado anteriormente. La Figura 4.10 muestra una imagen de este sistema de control de pedal instalado sobre el freno.



Figura 4.10 Sistema de control de pedal multipropósito CP800 de VEHICO

Similar al sistema P-A1316 de *AB Dynamics*, VEHICO desarrolló lo que denominó “concepto único de un actuador de freno de emergencia sin riesgo de falla —*FAILSAFE*—”. Este sistema fue concebido para producir un frenado de emergencia, principalmente en prueba donde no hay conductor en el vehículo, siendo accionado desde el exterior del mismo. Este sistema es capaz de desarrollar una fuerza máxima en el pedal de freno de 800 N, con una velocidad de desplazamiento máxima de 150 cm/s lo que permite que la máxima fuerza de frenado pueda ser aplicada en tan solo 250 ms, es por ello que este sistema en particular es utilizado para pruebas de frenado de emergencia o frenado de pánico (VEHI.CO Failsafe Emergency Brake System, 2021). La imagen superior de la Figura 4.11 muestra el sistema instalado en el vehículo, mientras que la imagen inferior es el elemento complementario que suministra la energía neumática con la cual el cilindro es activado. Por la forma en cómo y dónde está montado este sistema de freno de emergencia se deduce que este es un sistema redundante al sistema de frenos sobre el cual está instalado y que es similar al mostrado en los primeros planos de las imágenes de las Figuras 4.8 y 4.10.



Figura 4.11 Actuador de freno de emergencia sin riesgo de falla —*FAILSAFE*— de VEHICO

4.3 Sistemas automáticos de freno de emergencia

Otros desarrollos de sistemas que aplican una fuerza sobre el pedal del freno a fin de controlar la velocidad del vehículo encuentran uso en vehículos (automóviles o camionetas) que son remolcados por otros vehículos tipo camper como se observa en las imágenes de la Figura 4.12.



Figura 4.12 Vehículos arrastrados que pueden incorporar un mecanismo de frenado

Esos sistemas, a diferencia de los robotizados, no son tan sofisticados en términos de su diseño para controlar con precisión el tiempo de aplicación de la fuerza sobre el pedal del freno. Básicamente, estos sistemas replican en el vehículo remolcado la intensidad de la frenada aplicada por el conductor sobre el pedal del vehículo de arrastre —camper— de manera que hay fuerzas de frenado en las ruedas de ambos vehículos, con lo cual se aumenta la seguridad durante su tránsito en carretera. En este sentido, la inercia de la masa del vehículo remolcado no es transferida al vehículo de arrastre durante una frenada reduciendo el riesgo de algún tipo de inestabilidad direccional, particularmente en el vehículo tractivo. Básicamente, la energía de movimiento del vehículo arrastrado se disipa en su propio sistema de frenos cuando el vehículo tractivo es frenado.

Las imágenes de la Figura 4.13 muestran algunos del sistema de frenado más populares en los EUA, instalados en los vehículos que son remolcados y que aplican una fuerza sobre el pedal del freno. Estos sistemas son, de derecha a izquierda y de arriba hacia abajo, el denominado *Delta-Force* (DEMCO. Delta Force Braking System, 2021), el *RVi-Brake 2* (Turner, 2022), el *Roadmaster 9160 Brakemaster* (ROADMASTER, Inc. BRAKEMASTER, 2021) y el *Patriot Blue Ox* (You Tube. Blue Ox Patriot Braking System, 2016).



Figura 4.13 Sistema de frenado automatizado instalados en vehículos no tripulados y arrastrados por otro vehículo

5. Diseño conceptual del sistema para automatizar el frenado

En la sección anterior se describieron algunos de los sistemas de frenado existentes en el mercado que permiten aplicar una fuerza sobre el pedal de freno. Solo dos de los tres tipos de sistemas revisados, aquellos totalmente robotizados y aquello no robotizados pero automatizados con tecnología de control de altas especificaciones, ofrecen características de repetibilidad y reproducibilidad en la acción de frenado, controlando tanto los tiempos de aplicación de la fuerza de frenado como la magnitud de esta. Derivado de las configuraciones y tipos de pedales observados en los sistemas mostrados en las imágenes de las Figuras 4.1 a la 4.11, exceptuando la imagen 4 de la Figura 4.3, puede inferirse que estos han sido instalados principalmente en vehículos pequeños de pasajeros. La instalación de un sistema de frenado automatizado en vehículos pesados debe considerar los posibles tipos y tamaños del pedal de freno encontrados en estos vehículos.

Como se mencionó anteriormente, las diferentes tecnologías de frenado utilizadas en los vehículos ligeros y vehículos pesados hacen uso de dos principales medios para transmitir la fuerza, ejercida por el conductor sobre el pedal del freno, hacia los sistemas de freno ubicados en las ruedas. Estos medios corresponden a un fluido que pueden ser líquido —frenos hidráulicos, encontrados en todos los vehículos ligeros— o gaseoso —frenos de aire, encontrados en todos los vehículos de carga de gran capacidad—. Aunque los pedales de freno de estos vehículos están tendiendo a ser similares —más parecidos a los encontrados en los vehículos ligeros—, aún hay vehículos pesados cuyo pedal de freno difiere del tradicional. La Figura 5.1 muestra algunas vistas de un pedal de freno de un vehículo pesado que es similar al encontrado en los vehículos ligeros, pero que comanda válvulas para el control neumático de los frenos de aire.



Figura 5.1 Tipo 1 de pedal de freno encontrado en vehículos pesados o autobuses

Por otro lado, la Figura 5.2 muestra otro tipo de pedal de freno —más tradicional— que utilizan una cantidad significativa de vehículos de carga. De manera similar al caso anterior, este pedal de freno comanda las válvulas para el control del aire del sistema de frenos neumáticos.



Figura 5.2 Tipo 2 (tradicional) de pedal de freno encontrado en vehículos pesados o autobuses

Evidentemente, el mecanismo del sistema de frenado automatizado que está siendo bosquejado debe incorporar elementos que permitan lograr un adecuado acoplamiento para uno u otro tipo de pedal de freno. A fin de aprovechar de mejor manera la fuerza aplicada sobre uno u otro tipo de pedal, sería deseable que dicha fuerza pudiese ser aplicada de manera perpendicular a las superficies de los pedales, sin embargo, por restricciones de espacio y de operación no siempre es posible esto. Adicionalmente, un requerimiento que debe cumplir el sistema de freno automático es el de permitir la presencia del conductor del vehículo en su asiento de manera que este pueda, en un momento dado, tomar control del pedal de freno del vehículo, así como del vehículo mismo.

En este orden de ideas, los requerimientos que debe cumplir el sistema de frenado automatizado son:

- Versatilidad para poder acoplarse en los diferentes tipos de pedales de freno utilizados en los vehículos de carga.
- Permitir la ubicación del conductor en su asiento y que este puede controlar libremente el acelerador, el embrague (para vehículos con transmisión manual), el volante. En determinado momento, con el sistema automatizado de freno instalado, el conductor debe ser capaz de retomar el control del pedal del freno para accionarlo o liberarlo, esto último si el sistema ha sido activado.
- La activación del sistema automatizado de frenado puede ser manual o automática.
- Para el caso manual, el conductor debe tener control sobre la activación del sistema automatizado de frenado.

- Para el caso automático, el sistema de frenado debe accionarse ante una señal de control externa activada por algún elemento o sensor en el exterior del vehículo y en interacción con la pista o superficie de rodamiento.
- El sistema debe controlar, indicar y ofrecer el historial de la magnitud de la fuerza de frenado.

La Figura 5.3 muestra el esquema del diseño conceptual del sistema automatizado de frenado con base en los requerimientos anteriores.

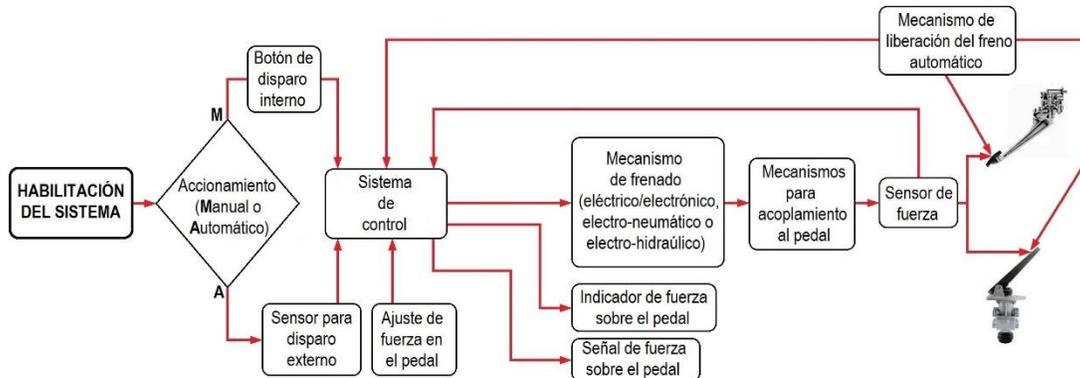


Figura 5.3 Esquema de diseño conceptual para el sistema automatizado de frenado

Con base en el esquema y diagrama de bloques mostrado en la Figura 5.3, a continuación, se describen cada uno de los subsistemas y mecanismos involucrados en el sistema automatizado de frenado sugerido.

5.1 Habilitación del sistema

El sistema automatizado de frenado debe tener un elemento que permita energizar eléctricamente a todo el sistema de control, así como un elemento o indicador visual que evidencie esta condición. Dichos elementos pueden estar conformados por un interruptor cortacorriente y una lámpara o LED. Las imágenes de la Figura 5.4 muestran algunos ejemplos de interruptores cortacorriente de palanca con indicador luminoso integrado o de tipo llave, así como un ejemplo de luz piloto.



Figura 5.4 Ejemplos de interruptores cortacorriente e indicadores luminosos

5.2 Accionamiento

El bloque de accionamiento corresponde a la sección del sistema en la cual se elige el modo de operación o activación del mecanismo de frenado automático, la cual puede ser manual —M— o automático —A—. En el modo Manual, el mecanismo de frenado automático será comandado por una señal generada directamente desde la cabina del conductor, la cual puede ser activada por el mismo conductor o por algún acompañante. La señal puede ser generada a través de un botón pulsador u otro medio de activación. El modo Automático permite que la señal de disparo o de activación del mecanismo de frenado sea producida por un agente externo al vehículo; particularmente esta señal pudiese producirse por algún sensor o arreglo de emisor-receptor de tipo óptico, magnético o electromagnético. El emisor pudiese estar colocado en algún punto sobre la superficie de rodamiento o de la infraestructura carretera, mientras que el receptor estaría colocado en una zona externa sobre la carrocería del vehículo, se debe garantizar determinada condición de alineamiento. Una vez que el vehículo cruza por este punto la interacción entre el emisor y el receptor ocasiona que se produzca una señal de disparo la cual es transmitida al sistema de control del sistema de frenado, desencadenando la secuencia del frenado automático.

Aunque el esquema de la Figura 5.3 muestra que los mecanismos de accionamiento manual, accionado por medio del botón pulsador colocado en cabina, o automático, accionado por el arreglo externo emisor-receptor, son habilitados por la preselección correspondiente, la topología de control pudiese ser ligeramente diferente. Por ejemplo, tanto el modo elegido como las señales correspondientes producidas por los elementos internos y externos, pudiesen ingresar de manera paralela al sistema de control, este, mediante la lógica implementada, acepta o discrimina a uno u otro. Las imágenes mostradas en las Figuras 5.5 y 5.6 presentan posibles elementos para esta etapa del desarrollo conceptual del sistema automatizado de frenado. Particularmente la Figura 5.5 muestra tanto un interruptor de Un-Polo-Doble-Tiro (UPDT) para la selección del tipo de accionamiento como un botón o interruptor tipo pulsador para generar la señal de disparo manual que puede ser normalmente abierto (NA) o normalmente cerrado (NC) dependiendo de la lógica de control elegida.



Figura 5.5 Ejemplos de elementos para implementar las etapas de accionamiento manual o automático por medio de un interruptor UPDT (izquierda) y el disparo manual del mecanismo de frenado por medio de botón pulsador (derecha)

Las imágenes mostradas en la Figura 5.6 corresponden a posibles arreglos de sensores emisor-receptor que puede ser del tipo óptico, magnético o electromagnético, según sea más sencilla y robusta su implementación, para generar la señal externa de disparo en modo automático.

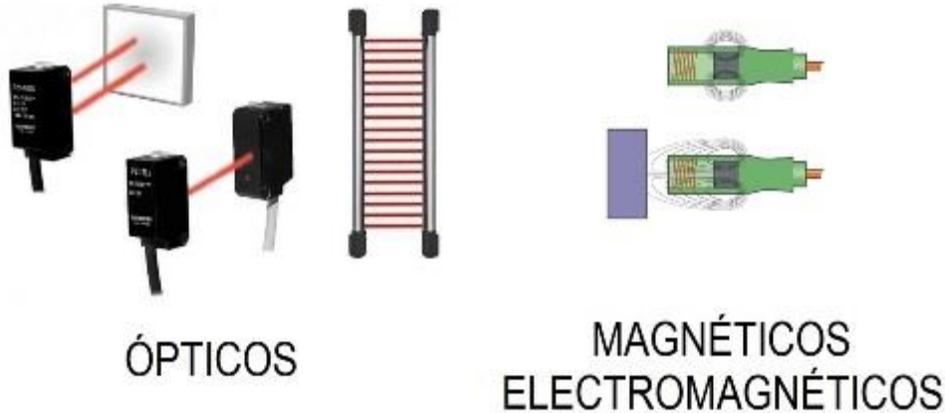


Figura 5.6 Ejemplos sensores ópticos y magnéticos para implementar la activación del modo automático del mecanismo de frenado, por medios externos

5.3 Ajuste de fuerza en el pedal

Dependiendo del diseño electrónico para la etapa del sistema control que puede ser en lazo abierto o en lazo cerrado, la selección del valor de la fuerza que debe ser aplicada sobre el pedal de freno pudiese ser introducida como un valor numérico establecido en kilogramos-fuerza, kgf, o en Newtons, N, a través de un teclado numérico físico o virtual, como pudiese ser una pantalla táctil. Dicho valor quedaría almacenado en el registro de control del sistema como un *setpoint* o valor objetivo de la fuerza deseada, el cual sería utilizado para la configuración en lazo cerrado. El sistema compararía los valores del *setpoint* y el de la magnitud real de la fuerza aplicada sobre el pedal de freno; esta última, medida y reportada por algún sensor de fuerza colocado sobre el pedal de freno o implementado sobre el mismo mecanismo que ejerce la fuerza sobre el pedal.

Una alternativa adicional para el establecimiento y ajuste de la fuerza aplicada sobre el pedal del freno puede ser mediante valores preestablecidos y concordantes con la normativa. Dichos valores preestablecidos pudiesen seleccionarse por medio de un selector rotativo tipo perilla o llave de cambios, donde explícitamente se elijan las magnitudes de fuerza correspondientes. De manera análoga a lo expuesto en el párrafo anterior, el valor elegido corresponderá al valor previamente almacenado en la unidad de control. Algunos ejemplos de teclados numéricos físicos y virtuales, así como de la llave de cambio o de la llave selectora se muestran en las imágenes de la Figura 5.7.



Figura 5.7 Ejemplos teclados numéricos físicos y virtuales —sobre pantalla táctil— (izquierda) y perilla de cambios para selección del valor de la fuerza de frenado deseada o preestablecida en el sistema de control

5.4 Alternativa para topología del sistema de control

Uno de los elementos medulares del dispositivo de frenado automatizado es el sistema de control. Este debe recibir tanto información sobre el modo de accionamiento, con el cual ha sido configurado el sistema, como de las señales de disparo o activación del mecanismo de frenado. Adicionalmente, este sistema de control también recibe información sobre el nivel de ajuste de la fuerza que deberá ser ejercida por el mecanismo sobre el pedal del freno ya sea en términos de un valor numérico ajustable o bien de valores preestablecidos de acuerdo con la normativa y que ha sido almacenado previamente en la memoria de la unidad de control.

La magnitud de la fuerza real aplicada sobre el pedal de freno y que es medida por un sensor de fuerza ingresa también como información de entrada a esta sección de control. Finalmente, la información del mecanismo de liberación de freno automático debe ingresar a la unidad de control para que esta tome la acción correspondiente, como por ejemplo desactivar la señal de frenado. La señal de activación/desactivación del mecanismo de frenado es una de las tres señales de salida que produce el sistema de control ante las condiciones de todas las señales de entrada mencionadas anteriormente.

La Figura 5.8 muestra una alternativa de la estructura del sistema de control. Dicha estructura incorpora elementos electrónicos para realizar el acondicionamiento de las diferentes señales de entrada las cuales pudiesen ser de índole analógica o digital. A fin de que estas señales ingresen de manera adecuada a la unidad de procesamiento central (UPC) estas deberán pasar previamente por las interfaces correspondientes de conversión analógica-digital —A/D— o sencillamente reacondicionadas a los niveles digitales compatibles con la UPC a través de una interface digital —D—. La UPC almacena en la unidad de memoria correspondiente el código de control, identificado como firmware, que procesa la información o

señales de entrada y generar las señales de salida correspondiente en función de la programación establecida.

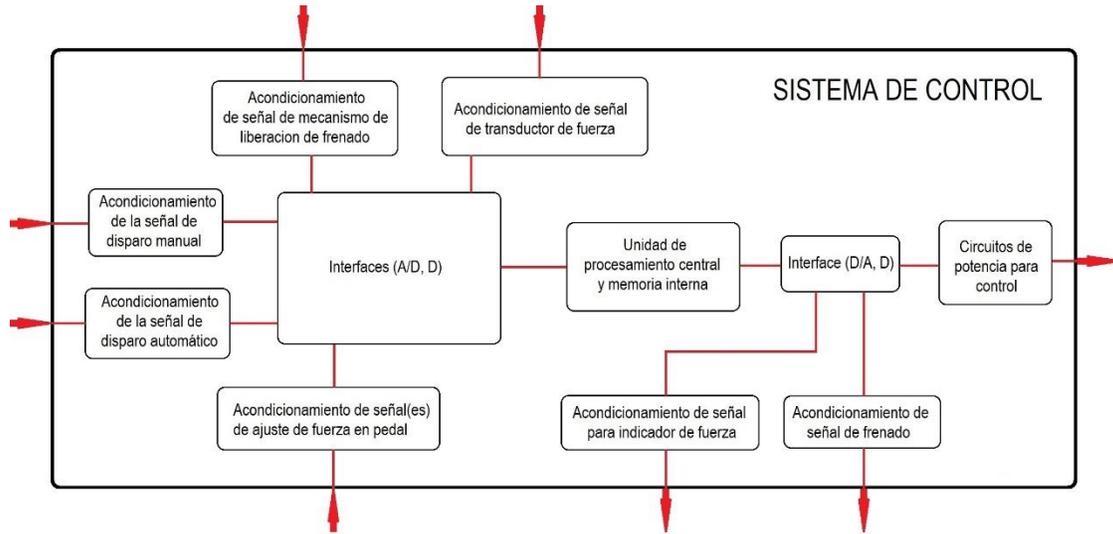


Figura 5.8 Alternativa de estructura interna del Sistema de Control

5.5 Mecanismo de frenado

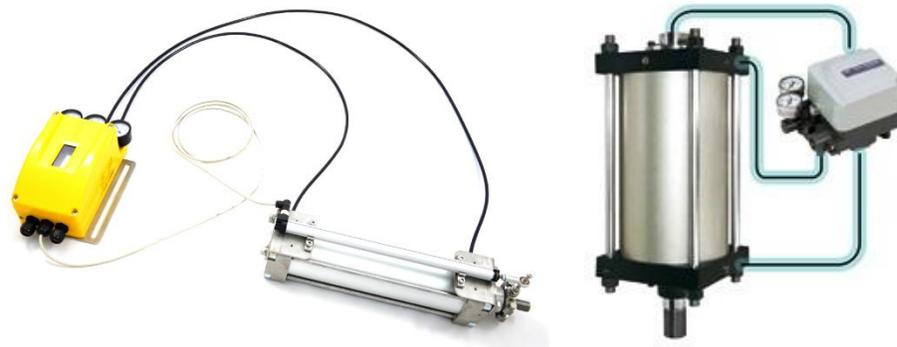
El mecanismo de frenado es el otro elemento medular del sistema automatizado para frenado. Este mecanismo básicamente accionará el pedal del freno con la fuerza y rapidez requeridos. La normativa norteamericana, FMVSS 571.135, y europea, UN-R13H, coinciden en establecer una fuerza de frenado para vehículos ligeros que debiera alcanzar hasta 1000 N (102 kgf) (National Archives and Records Administration. FMVSS 571.135, 2021), (United Nations. UN Regulation No. 13-H. Rev.4, 2018). La normativa europea aplicable a frenos de vehículos de carga (United Nations. Regulation No. 13 Rev. 8, 2014) señala una fuerza máxima de 70daN, lo que corresponde a 700 N (71 kgf), en el pedal de freno. La Norma Mexicana NMX-D-5-1980 establece una fuerza máxima sobre el pedal de freno, para vehículos automotores de menos de 2700 kg, no mayor a 890 N (91 kgf) (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. NMX-D-5-1980, 1980). En este sentido, es deseable que la implementación del mecanismo de frenado debiese desarrollar una fuerza de frenado de hasta 1.2 el valor máximo de los valores anteriores, lo cual correspondería a 1200 N (122 kgf). Solo las normativas americana y europea (FMVSS 571.135 y UN-R13H, respectivamente) indican una máxima razón de incremento de fuerza en el pedal de hasta 200 N/s.

El accionamiento o desplazamiento del pedal de freno pudiera lograrse por medio de un mecanismo o actuador que ofrezca un movimiento lineal o un movimiento angular. Dado que la señal de salida generada por el sistema de control es una señal eléctrica que puede ser acondicionada a un nivel de potencia específico, el mecanismo de frenado deberá recibir una señal eléctrica como señal de comando para producir el movimiento deseado y eventualmente presionar el pedal de freno del vehículo. De la revisión de los sistemas de frenado automático, comercialmente

disponibles mencionados en el capítulo anterior, se pueden identificar además de los movimientos lineal o angular, tres sistemas básicos de accionamiento que son electro-neumático, electrohidráulico y eléctrico o electrónico.

5.5.1 Actuador electro-neumático

Un actuador electro-neumático lineal o angular puede utilizar la energía eléctrica para dos propósitos. El primero, para accionar un motor eléctrico que pone en movimiento a un pequeño compresor que presuriza aire para introducirlo a las cámaras de actuador o cilindro de control que producirá el movimiento del vástago del actuador. El segundo, para energizar electroválvulas que controlan el flujo del aire, almacenado en algún sistema, hacia una u otra cámara del actuador lineal o angular. Para el segundo caso, dado que no existe una bomba que presurice el aire, es necesaria la existencia de algún elemento que almacene aire a presión el cual será controlado por las electroválvulas. La Figura 5.9 muestra algunos ejemplos de actuadores electro-neumáticos, cuyas líneas de aire llegan a cada extremo del actuador para producir su desplazamiento hacia uno u otro lado.



Fuente: (Indutec, 2021) y (SMC Corporation (México) S.A. de C.V., 2017)

Figura 5.9 Ejemplo de actuadores electroneumáticos

Aunque la mayoría de estos sistemas comerciales son voluminosos, por lo que pudiesen no ser factible su implementación como mecanismo de accionamiento del pedal de freno, algunos sistemas más avanzados y especializados, pero de mayor costo, pudiesen existir en el mercado como aparentemente se puede inferir de los sistemas robotizados mostrados en las Figuras 4.1, 4.2, 4.7 y 4.11.

5.5.2 Mecanismo de accionamiento electrohidráulico

De manera análoga al mecanismo de accionamiento electro-neumático, un actuador con accionamiento electrohidráulico utiliza energía eléctrica para comandar en primer lugar una bomba que presuriza un líquido para generar potencia hidráulica con la cual se generará la fuerza motriz para poner en movimiento lineal o angular al actuador. Al generarse la fuerza motriz hidráulica, también la energía eléctrica acciona una electroválvula para el control completo del actuador. Movimientos complejos del actuador en cuanto a direcciones, velocidades y tiempos de

accionamiento requieren de válvulas más sofisticadas denominadas electro-servoválvulas. El desempeño global de un mecanismo de accionamiento electrohidráulico requiere de otros dispositivos o sensores de retroalimentación para el control de los movimientos. La Figura 5.10 muestra un par de ejemplos de actuadores electrohidráulicos.



Fuente: (Direct INDUSTRY, 2021) y (Alibaba.com, 2021)

Figura 5.10 Ejemplos de actuadores electrohidráulicos

5.5.3 Mecanismo de accionamiento eléctrico o electrónico

Los avances tecnológicos en la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y de control han permitido el desarrollo de diversos mecanismos de activación y control mucho más compactos y los actuadores sean lineales o angulares no son la excepción. Los actuadores de accionamiento eléctrico o electrónico son propulsados básicamente por motores eléctricos de corriente directa o por motores de pasos. El movimiento del motor eléctrico usualmente acciona una serie de engranes para finalmente producir el movimiento lineal o angular del actuador. En este sentido, el accionamiento del actuador es esencialmente electromecánico. La Figura 5.11 muestra algunos ejemplos de actuadores lineales eléctricos o electromecánicos.



Fuente: (Larraioz elektronika. FT actuadores lineales, 2021), (ELECTRÓNICA EMBAJADORES. Actuadores Lineales, 2021) y (AliExpress. Actuadores Lineales, 2021)

Figura 5.11 Ejemplos de actuadores lineales comandados electromecánicamente

Se encuentra establecido como requerimiento que el sistema de frenado automatizado, una vez instalado, no debe obstruir los movimientos naturales de control del conductor ni interferir con sus extremidades inferiores o superiores. Dicho

requerimiento implica que el sistema automatizado para frenado no deba ser voluminoso. Por tanto, pudiesen quedar excluidas las alternativas de desarrollar el sistema con base en mecanismos electro-neumático, electrohidráulico o electromecánico, ya que estos, en su mayoría, tienden a ser voluminosos.

Otra alternativa para el desarrollo del sistema de frenado automatizado es utilizar directamente un motor de corriente directa, un motor de pasos o un servomotor. Por ende, el movimiento rotatorio de estos debe acoplarse a un mecanismo que permita generar el desplazamiento del pedal de freno del vehículo. Algunos sistemas de frenado automatizado que utilizan esta tecnología son los mostrados en las Figuras 4.5, 4.6, 4.8 y 4.10. A diferencia del motor de corriente directa y del motor de pasos, un servomotor, el cual incorpora ya sea un motor de corriente directa o uno de corriente alterna, incluye algún dispositivo o sensor, usualmente de posición, que genera una señal de retroalimentación a través de la cual se logra un control más preciso en términos de posición, velocidad y aceleración angulares. Adicionalmente, un servomotor solo puede girar una determinada cantidad de grados hacia una u otra dirección, lo cual permite una mejor precisión de movimientos. La Figura 5.12 muestra unos ejemplos de motores de corriente directa, motores de paso y servomotores.

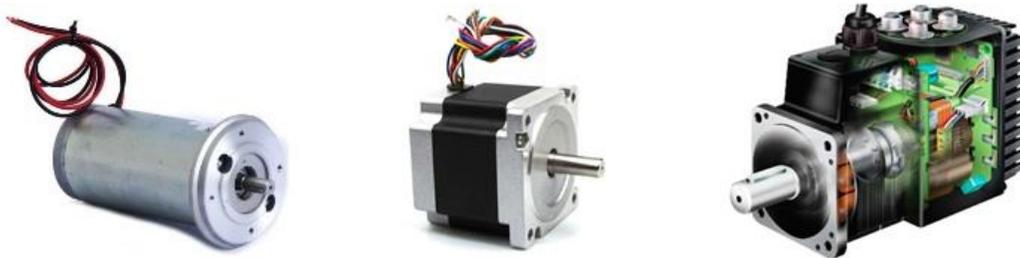


Figura 5.12 Ejemplos de motor de corriente directa (izquierda), motor de pasos (centro) y servomotor (derecha)

Derivado de lo anterior, se propone que el elemento que genere la fuerza sobre el pedal del freno sea por medio de un motor de corriente directa o de un servomotor cuyo par sea capaz de producir hasta 1200 N de fuerza sobre el pedal, como se estableció en el apartado 5.5. Asimismo, el arreglo del sistema deberá ser capaz de poder desarrollar una máxima rapidez de aplicación de esta fuerza de hasta 200 N/s. Por tanto, el par o torque del motor elegido debe garantizar que se cumplan los requerimientos anteriores. De igual manera, se deberá considerar en la instalación del sistema dentro del vehículo, su ubicación y los espacios disponibles entre este, el asiento del conductor y el pedal de freno; permitiendo en todo momento el movimiento libre de los pies del conductor. La Figura 5.13 muestra el planteamiento de las posibles posiciones del pedal de freno al ser desplazado debido al movimiento iniciado por el motor elegido, así como los elementos de enlace.

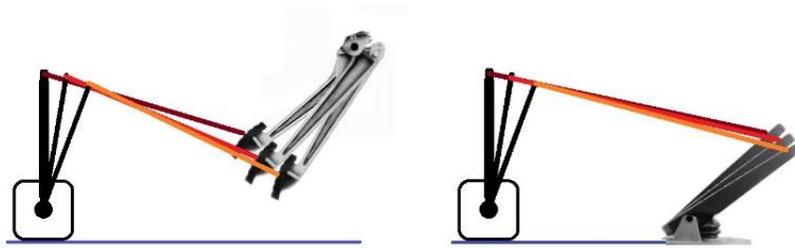


Figura 5.13 Movimientos generados por el motor para desplazar el pedal de freno

5.6 Mecanismo para acoplamiento al pedal

El acoplamiento del mecanismo de frenado contra el pedal de freno del vehículo debe ser tal que, cuando está conectado, permita la operación adecuada de este por medio del pie del conductor. En ese sentido, el conductor deberá poder accionar el pedal del freno sin afectar al mecanismo de frenado automatizado, estando este último preparado para operar en cuanto se produzca la señal de disparo sea por accionamiento manual o automático. Adicionalmente, cuando el mecanismo de frenado automatizado ha sido activado y este se encuentra aplicando fuerza sobre el pedal del freno, el diseño del acoplamiento debe ser tal que permita al conductor, en caso de requerirlo, “desenganchar” o “deshabilitar” no solo eléctrica sino mecánicamente el mecanismo de frenado, de manera que pueda recuperarse el accionamiento del pedal del freno a voluntad de él.

Las imágenes de la Figura 5.14 muestra algunos diseños de mecanismos de acoplamiento al pedal del freno que, aun al estar instalados sobre el pedal del freno, ofrecen versatilidad para que el conductor, con su pie, pueda oprimir el freno. Ambas imágenes son de sistemas desarrollados por *AB Dymics* (AB Dynamics, 2021)

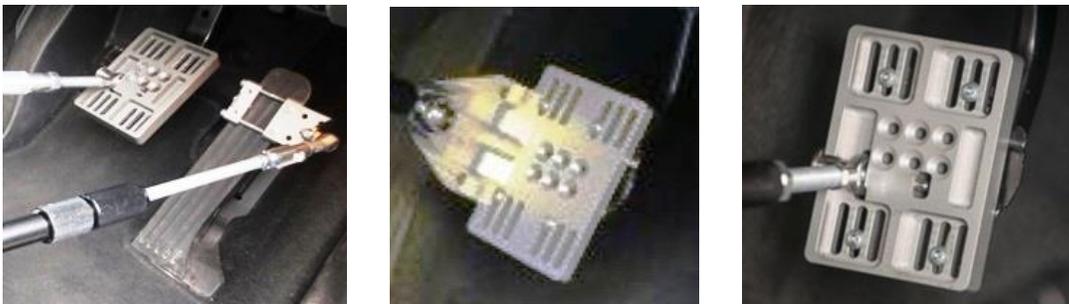


Figura 5.14 Ejemplos de algunos mecanismos versátiles de acoplamiento al pedal del freno

5.7 Sensor de fuerza

El elemento de retroalimentación que informa, al sistema de control, la magnitud de la fuerza aplicada al pedal del freno está conformado esencialmente por un dispositivo identificado como sensor o transductor de fuerza. Como se expuso anteriormente en este documento, existen en el mercado sensores especializados

para medir e indicar la fuerza aplicada directamente sobre el pedal del freno. La Figura 3.1 da cuenta de algunos de ellos.

Se puede identificar otra alternativa para cuantificar la fuerza aplicada sobre el pedal del freno, la cual es menos invasiva o limitante para el movimiento del pie del conductor desde su posición de reposo, sobre el piso del vehículo, hasta su posición final, sobre el pedal del freno, y viceversa. Esta alternativa consiste en colocar otro tipo de sensor de fuerza en algún punto sobre la línea de acción de la fuerza ejercida por el mecanismo de accionamiento automatizado y el mecanismo de acoplamiento al pedal de freno. Las imágenes de la Figura 5.15 resumen ejemplos de los sensores de fuerza o celdas de carga, encerradas en círculos azules, utilizados en algunos de los mecanismos de frenado de emergencia presentados en secciones anteriores de este documento.



Figura 5.15 Ejemplos de transductores de fuerza y/o celdas de carga no intrusivos al pedal de freno

Estos transductores o sensores básicamente generan una señal eléctrica, ya sean en términos de voltaje o de corriente, la cual es proporcional a la magnitud de la fuerza aplicada por el mecanismo de frenado que cruza por el sensor y llega al mecanismo de acoplamiento al pedal. Es de remarcar que esta disposición del sensor de fuerza únicamente aporta información sobre la fuerza aplicada por el mecanismo de frenado, no la fuerza que en algún momento estaría aplicando el conductor sobre el pedal. Para ello, sería imprescindible colocar el sensor de fuerza o transductor sobre el pedal del freno, como aquellos mostrados en la Figura 3.1.

5.8 Mecanismo de liberación de freno

El incorporar un elemento adicional sobre el pedal de freno pudiese modificar la distancia preestablecida con base en la normativa de fabricación correspondiente y pudiese generar cierta incomodidad inicial para el conductor de un vehículo al momento de accionar el pedal de freno. Esta situación puede ser reducida y eventualmente superada a través de la práctica y el entrenamiento. Una vez que el conductor ha logrado habituarse al uso del pedal de freno con el mecanismo de acoplamiento instalado también debe acostumbrarse a identificar y accionar el mecanismo de liberación del freno automatizado. Dicho mecanismo de liberación necesita estar presente de manera que cuando el sistema automatizado de frenado

ha sido aplicado y este se encuentra oprimiendo el pedal del freno, ante una situación extraordinaria en el manejo del vehículo, el conductor pueda tener la posibilidad de desactivar y liberar dicho mecanismo de frenado de forma que pueda retomar el control total sobre el pedal de freno. La liberación del freno automatizado puede ser mecánica o eléctrica, en todo caso se debe generar una señal eléctrica que sea enviada a la unidad de control principal para que esta de manera simultánea a la desactivación mecánica también realice una desactivación eléctrica del sistema de frenado automatizados.

Una alternativa de la desactivación mecánica del frenado automatizado es aquella en la cual conductor, al momento de requerir desactivar y retomar el control del pedal de freno, lo pueda lograr de manera inmediata con un movimiento lateral de su mismo pie. Al presionar con el costado izquierdo de su pie sobre el mecanismo de acoplamiento al pedal logrará simultáneamente liberar mecánicamente el sistema de frenado y oprimir un interruptor de manera que se genere una señal eléctrica que indicará al sistema de control suspender el accionamiento del mecanismo de frenado automatizado. La Figura 5.16 muestra la idea conceptual de este mecanismo y su accionamiento.

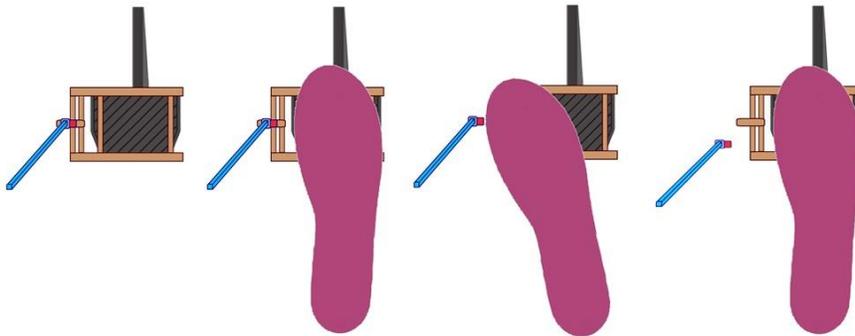


Figura 5.16 Planteamiento conceptual del mecanismo de liberación del freno automatizado

5.9 Indicador y señal de fuerza sobre el pedal de freno

Finalmente, las dos restantes salidas del sistema de control corresponden a la señal proporcional a la fuerza aplicada sobre el pedal del freno y a aquella canalizada hacia un indicador visual. La señal de salida del pedal del freno estaría concebida como una señal eléctrica analógica, en términos de voltaje, la cual, con el acondicionamiento adecuado, estará disponible para algún sistema externo de adquisición de datos (DAQ) y con ello sincronizar señales de otros elementos o sistemas del vehículo. Por otro lado, la señal del indicador es aquella información, analógica o digital, que llegará a un sistema de despliegue o pantalla indicando en tiempo real la magnitud de la fuerza que está siendo registrada por el sensor de fuerza y por tanto que está siendo aplicada sobre el pedal del freno. Como fue puntualizado en la sección 5.7, la señal generada por un sensor del freno no intrusivo reporta la fuerza aplicada por el mecanismo de frenado automatizado sobre

el pedal; la fuerza aplicada por el conductor sobre el pedal del freno no estará disponible a menos que se dote al sistema con un sensor de fuerza colocado sobre el mecanismo de acoplamiento del pedal del freno, similares a los mostrados en las imágenes de la Figura 3.1.

La conceptualización del sistema de control de frenado automatizado con sus posibles elementos de interface muestra en la Figura 5.17.



Figura 5.17 Diseño conceptual del sistema de frenado automatizado. Unidad de Control y visualización

Conclusiones y Recomendaciones

El sistema de frenos de un vehículo es uno de los más fundamentales e importantes en la ingeniería de todo vehículo automotor. Una vez que el vehículo es puesto en movimiento es necesario mantener controlada la velocidad, sea reduciéndola parcialmente o deteniendo completamente al vehículo. Independientemente de las condiciones bajo las cuales se accione el sistema de frenos, sean estas normales o de emergencia, la detención del vehículo debe ser en todo momento manteniendo el control, la estabilidad y su seguridad. Dependiendo de las características del vehículo, particularmente en cuanto a su capacidad de carga, los sistemas de freno pueden ser accionados hidráulicamente o neumáticamente. Nuevas tecnologías permiten el frenado eléctrico o el empleo de frenos regenerativos en los cuales la energía cinética del vehículo es convertida en electricidad y enviada a elementos de almacenamiento como la batería del vehículo o dispositivos especiales como son los supercapacitores. El freno principal del vehículo se conoce como freno de servicio; adicionalmente, todo vehículo automotor de carretera debe incorporar un freno de estacionamiento mecánico que usualmente opera sobre las ruedas posteriores del vehículo. Los elementos friccionantes de los frenos de servicio, a través de los cuales se disipa su energía cinética del vehículo, son el binomio pastillas-rotor y zapatas-tambor.

Las normas o estándares buscan mejorar la seguridad además de promover el intercambio comercial a través de la homologación o el cumplimiento de requisitos y especificaciones técnicas. Las normativas pueden ser de observancia obligatoria o de aplicación voluntaria, usualmente las primeras recurren a las segundas para establecer un contenido técnico consistente. En general, la aplicación de las normas, estándares o regulaciones puede ser de carácter nacional, regional o internacional. El rubro específico de las normativas técnicas de frenos considera la estandarización, tanto de elementos o componentes particulares, como de sistemas integrados, y se complementan con métodos de prueba para evaluar el desempeño de estos.

Algunas normativas indican que para evaluar de manera integral el desempeño de los frenos de un vehículo es fundamental tener control sobre los tiempos de aplicación y la magnitud de la fuerza sobre el pedal de freno. Por tanto, algunos procedimientos establecen que esta acción debe realizarse por un conductor experimentado o por medio de un sistema automatizado que accione el pedal de freno de acuerdo con determinado perfil de fuerza y tiempo. Si la acción de frenado es realizada por un conductor y se requiere conocer la magnitud de la fuerza aplicada sobre el pedal de freno, es necesaria la instalación, sobre el pedal del freno, de algún sistema de medición con sensor que informe al conductor la magnitud de dicha fuerza.

La acción de frenar en un esquema de pruebas de desempeño requiere de toda la atención del conductor para mantener la velocidad de prueba lo más constante posible previo a la frenada y posteriormente aplicar una fuerza específica sobre el pedal del freno en determinado tiempo. En todo ese proceso el conductor debe vigilar la velocidad, desembragar o desactivar la tracción del vehículo, frenar a fondo y mantener una trayectoria segura del vehículo. Esto último, particularmente, si hay bloqueo de llantas y el vehículo derrapa sobre la superficie de rodamiento exhibiendo una pérdida del control direccional del mismo. Por lo anterior, dicha prueba debe ser realizada por un conductor experimentado o por medio de un sistema de frenado automatizado que controle los tiempos y magnitud del frenado.

Comercialmente se pueden encontrar diferentes sistemas y mecanismos para realizar de manera automática la acción de frenado de un vehículo. Hay sistemas de control que son de alta tecnología y totalmente automatizados donde incluso se prescinde del conductor. Estos sistemas, identificados como robotizados, permiten controlar los vehículos con suma precisión, particularmente los tiempos de aplicación del frenado y la magnitud de la fuerza ejercida sobre el pedal del freno. Otros sistemas, aunque no robotizados, son automatizados y en la mayoría de ellos es necesaria la presencia del conductor para dirigir el vehículo. Similar a los sistemas robotizados, la acción de frenado se lleva a cabo por medio de un mecanismo que aplica y controla tanto la fuerza sobre el pedal de freno como su tiempo de aplicación.

Finalmente, cuando un vehículo camper o autobús remolca a un automóvil u otro automotor ligero, a este último se le coloca un mecanismo de frenado que emplea un pistón que al desplazarse acciona el pedal de freno. El desplazamiento de dicho pistón es una réplica del movimiento que el conductor del camper o autobús realiza sobre el pedal de freno del vehículo tractivo. Cuando el conductor frena su vehículo tractivo también el vehículo remolcado se frena por la acción del desplazamiento del pistón sobre el pedal de freno. El frenado casi simultáneo del vehículo no tripulado –el remolcado– evita que su inercia sea transferida en su totalidad al vehículo de arrastre y que ello pudiese propiciar un riesgo de inestabilidad o de mayor demanda al sistema de frenos del vehículo de arrastre.

Las comparaciones entre pruebas de frenado requieren de poca variabilidad, lo cual implica mantener condiciones similares de la fuerza aplicada sobre el pedal, del índice de fricción entre las llantas y la superficie de rodamiento, del peso del vehículo y de la velocidad inicial de este. Por ello, es fundamental contar con un sistema de frenado automatizado que permita realizar acciones de frenado repetibles y reproducibles para cada conjunto de pruebas, independientemente del conductor. De no contar con este, evidentemente se requiere de un conductor con amplia experiencia y familiaridad con este tipo de pruebas. La ejecución de las pruebas de frenado implica otras habilidades y experiencia de un conductor o piloto del vehículo cuando se trata de realizar las pruebas de frenado en un vehículo ligero vacío o de un vehículo pesado cargado y con varios metros de longitud. El mecanismo de acoplamiento entre el sistema de freno automatizado y el pedal del freno del vehículo debe tener la versatilidad suficiente para poder ser acoplado

sobre los diferentes pedales de freno más comúnmente encontrados en los vehículos. Particularmente, aquellos presentes en los vehículos pesados de carga o pasaje. Adicional a lo anterior, todo el sistema de frenado automatizado instalado dentro del vehículo debe permitir no solo la presencia del conductor en su asiento correspondiente sino también que este disponga del espacio suficiente para que pueda accionar sin complejidades, y en un momento dado, el pedal del freno u otros elementos de control del vehículo.

Se recomienda que el sistema de frenado automatizado deba cuando menos incorporar los siguientes requerimientos:

- Versatilidad para poder acoplarse en los diferentes tipos de pedales de freno.
- Dar espacio suficiente para que el conductor, desde su asiento, pueda controlar libremente el acelerador, el embrague (para vehículos con transmisión manual), el volante y, en un momento dado, tomar el control del pedal del freno.
- La activación del sistema automatizado de frenado puede ser manual o automática.
- Para el caso manual, el conductor debe tener control sobre la activación del sistema automatizado de frenado.
- Para el caso automático, el sistema de frenado debe accionarse ante una señal de control externa activada por algún elemento o sensor en el exterior del vehículo y en interacción con la pista o superficie de rodamiento.
- El sistema debe controlar, indicar y registrar el historial de la magnitud de la fuerza de frenado.

A fin de lograr lo anterior, se define un diseño conceptual del sistema de frenado automatizado que contiene los siguientes elementos:

- Interruptor general del sistema
- Selector para el tipo de accionamiento del sistema de frenado, ya sea por decisión del conductor o de alguien más dentro de la cabina, o por medio de señal externa
- Ajuste de la magnitud de la fuerza sobre el pedal
- Sistema de control centralizado que registre, procese y transmita la información
- Mecanismo de frenado con base en motor de corriente directa o servomotor
- Mecanismo de acoplamiento para pedal universal, independientemente del tipo de pedal de freno presente en el vehículo
- Sensor de fuerza no intrusivo que proporcione una señal eléctrica proporcional a la fuerza aplicada
- Mecanismo de emergencia que desactive el sistema automatizado de frenado, tanto mecánica como electrónicamente
- Indicador de la magnitud de frenado

- Señal eléctrica de salida para uso en otro sistema externo, como por ejemplo un sistema de adquisición de datos. La señal de salida debe ser directamente proporcional a la fuerza de frenado aplicada sobre el pedal

Basados en este diseño conceptual, en una etapa posterior, se podrá desarrollar un prototipo del sistema eléctrico/electrónico y mecánico para frenado automatizado, que deberá ser evaluando y validando a través de pruebas físicas de frenado y bajo un protocolo específico.

Bibliografía

- AB Dynamics (2021). *Testing the future of driving*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.abdynamics.com/>
- AiP automotive (2021). *Test Systems for a Clean and Safe Environment*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.aip-automotive.de/en/>
- AIP GmbH & Co (2021). *AiP automotive. Driving Robot JAMES*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.aip-automotive.de/en/Products/Test-Stand-Accessories/Driving-Robot>
- Alibaba.com (2021). *Actuadores electrohidráulicos*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://spanish.alibaba.com/>
- AliExpress. Actuadores Lineales (2021). [Publicación en línea]. Recuperado de https://es.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20220218191710&SearchText=actuadores+lineales
- Blue Ox (2016). *Blue Ox Patriot Braking System*. [video en línea]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=qKO1zSoZHwo>
- Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos (2020). *DECRETO por el que se expide la Ley de Infraestructura de la Calidad y se abroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización Secretaría de Gobernación*. Diario Oficial de la Federación (DOF). [Publicación en línea]. Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596009&fecha=01/07/2020
- DEMCO. Delta Force Braking System (2021). *RV TOWING PRODUCTS*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.demco-products.com/rv-towing/supplemental-brakes/delta-force>
- Direct INDUSTRY (2021). *Self-Contained Electrohydraulic Actuator Offers Failsafe Operation*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://trends.directindustry.es/project-17191.html>
- Economic and Social Council. United Nations. 1997 Agreement (2021). *Status of the 1997 Agreement and of the Rules annexed to it. Revision 16*. [Publicación en línea]. Recuperado de [ECE/TRANS/WP.29/1074/Rev.16: https://unece.org/sites/default/files/2021-03/ECE-TRANS-WP.29-1074-Rev.16.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-03/ECE-TRANS-WP.29-1074-Rev.16.pdf)

Electrónica Embajadores. (2021). *Actuadores Lineales* [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.electronicaembajadores.com/es>

GreenMot (2020). *Driver Robot*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.greenmot.com/en/products/robot-driver/>

Indutec (2021). *Posicionador Electroneumático APIS*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.indutecslu.es/aplisens-posicionador-electroneumatico-apis-p-40-es>

International Organization for Standardization [ISO] (2021). *Members. DGN Mexico. Membership: Member Body*. Obtenido de <https://www.iso.org/member/1954.html>

Larraioz elektronika (2021). *FT actuadores lineales*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://larraioz.com/exlar/productos/actuadores-lineales-ft>

Maturo GmbH (2021) *Positioning Equipment for EMC and Wireless Testing*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://maturo-gmbh.com/en/products/dynamometers>

National Archives and Records Administration (2021). *FMCSR Code of Federal Regulations. eCFR System. Title 49/subtitle B/chapter III/subchapter B. Subchapter B Federal Motor Carrier SAFETY Regulations*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-III/subchapter-B>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.105 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.105. Standard No. 105; Hydraulic and electric brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.105>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.106 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.106. Standard No. 106; Brake hoses brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.106>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.116 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.116. Standard No. 116; Motor vehicle brake fluids*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.116>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.121 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part*

571/Subpart B/§ 571.121. *Standard No. 121; Air brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.121>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.122 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.122. Standard No. 122; Motorcycle brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.122>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.122a Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.122a. Standard No. 122a; Motorcycle brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.122a>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.126 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.126. Standard No. 126; Electronic stability control systems for light vehicles*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.126>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.135 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.135. Standard No. 135; Light vehicle brake systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.135>

National Archives and Records Administration (2021). *FMVSS 571.136 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571/Subpart B/§ 571.136. Standard No. 136; Electronic stability control systems for heavy vehicles*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.136>

National Archives and Records Administration (2021). *Part 393 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title 49/subtitle B/chapter III/subchapter B/Part 393.* [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-III/subchapter-B/part-393>

National Archives and Records Administration (2021). *Part 570 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 570. Part 570 - Vehicle in use inspection standards*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-570>

National Archives and Records Administration (2021). *Part 571 Code of Federal Regulations. eCFR System. Title49/Subtitle B/Chapter V/Part 571. Federal*

Motor Vehicle Safety Standards. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571>

ROADMASTER, Inc. (2021). *Proportionate Towed Car Braking System*. [Publicación en línea]. Recuperado de https://www.roadmasterinc.com/products/braking/brakemaster/brake_m.php

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial [SECOFI] y Dirección General de Normas [DGN] (1980). *NMX-D-5-1980 Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/DetalleNMX.xhtml?pidn=cx4ekI3bWxaN0pRcjUwMjhKQmtpQT09>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes [SCT] (2017). *NOM-012-SCT-2-2017 Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación (DOF)*. [Publicación en línea]. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017

Sistema Integral de Normas y Evaluación de la Conformidad [SINEC] (s.f.). *gob.mx. SE*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/BusquedaNormas.xhtml>

SMC Corporation (2017). *Industria Minera. Resources Process*. [Publicación en línea]. Recuperado de http://smc.com.mx/wp-content/uploads/2018/01/INDUSTRIA-MINERA_.pdf

STÄHLE Robot Systems (2021). *Robot Systems - Measuring Instruments and Control Devices*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.staehle-robots.com/english-1/>

STÄHLE ROBOT SYSTEMS. ACTUATOR AP-B/FR.10 (2021). [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.staehle-robots.com/english-1/products/ap-b-fr-eng/>

STÄHLE ROBOT SYSTEMS (2021). *AUTOPILOT SAP2000T SERIES FOR MANUAL AND AUTOMATIC TRANSMISSION VEHICLES*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.staehle-robots.com/english-1/products/sap2000t-eng/>

STÄHLE ROBOT SYSTEMS (2021). *EMERGENCY BRAKE ACTUATOR. P-A1316*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.staehle-robots.com/english-1/products/p-a1355-eng/>

Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones. Séptima edición revisada* (7ma. ed.). México, D.F.: McGraw-Hill.

-
- Turner, W. (2022). *THE RV WEB NETWORK. The Best Towed Vehicle Braking Systems*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.rvweb.net/best-towed-vehicle-braking-systems-reviewed/>
- United Nations Economic Commission for Europe [UNECE] (2021). *1958 Agreement UNECE. UN REGULATIONS (ADDENDA TO THE 1958 AGREEMENT)*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/un-regulations-addenda-1958-agreement>
- United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. WP.29 (2021). *UNECE. TRANSPORT. WP29 WORLD FORUM FOR HARMONIZATION OF VEHICLE REGULATIONS (WP.29)*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/transport/vehicle-regulations/wp29-world-forum-harmonization-vehicle-regulations-wp29>
- United Nations Economic Commission for Europe [UNECE] (2021). WP.29. *VEHICLE REGULATIONS. UNECE. TRANSPORT. TEXT OF THE 1958 AGREEMENT*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/trans/main/wp29/wp29regs>
- United Nations Regulation (2014). Regulation No. 13 Rev. 8. *UNECE. Addenda to the 1958 Agreement (Regulations 0-20). Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2015/R013r8e.pdf>
- United Nations Regulation (2018). *UN Regulation No. 13-H. Rev.4. UNECE. Addenda to the 1958 Agreement (Regulations 0-20). Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2018/R013hr4e.pdf>
- United Nations (2021). *Economic and Social Council. ECE/TRANS/WP.29/1073/Rev.31. Economic Commission for Europe. Inland Transport Committee. World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations. Status of the Agreement, of the Global Registry and of the Compendium of Candidates. Revision 31*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/sites/default/files/2021-11/ECE-TRANS-WP29-1073-Rev31e.pdf>
- United Nations. Global Registry (2006). *Addendum. Global Technical Regulation (GTR) No. 3 MOTORCYCLE BRAKE SYSTEMS. ECE/TRANS/180/Add.3*. [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a3e.pdf>
-

United Nations. Global Registry (2008). *Addendum. Global Technical Regulation (GTR) No. 8. ELECTRONIC STABILITY CONTROL SYSTEMS. ECE/TRANS/180/Add.8.* [Publicación en línea]. Recuperado de: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a8e.pdf>

United Nations. Rules (2018). *Agreement Concerning the adoption of uniform conditions for periodical technical inspections of wheeled vehicles and the reciprocal recognition of such inspections. Addendum 2 - Rule No. 2 Revision 1. Uniform provisions for periodical technical inspections of wheeled vehicles with regard to their roadworthiness.* [Publicación en línea]. Recuperado de <https://unece.org/DAM/trans/main/wp29/wp29r-1997agr-rules/ECE-RCTE-CONF-4-Add.2-Rev.1.pdf>

Vázquez Vega, D., Hernández Jiménez, J., Fabela Gallegos, M. F., Sánchez Vela, L., Cruz Acevedo, M. (2020). *Programa de evaluación de autos nuevos para lograr vehículos seguros.* Publicación técnica núm. 595. México: Instituto Mexicano del Transporte

VEHI.CO Brake Robot (2021). *THE STRONGEST ROBOT ON THE MARKET.* [Publicación en línea]. Recuperado de https://www.vehico.com/en/brake_robot

VEHI.CO Combined Brake and Accelerator Robot. (s.f.). *ONE ROBOT - TWO PEDALS.* [Publicación en línea]. Recuperado de https://www.vehico.com/en/comb_pedalrobot

VEHI.CO Failsafe Emergency Brake System (2021). *FAIL-SAFE EMERGENCY BRAKE ACTUATOR.* [Publicación en línea]. Recuperado de https://www.vehico.com/en/failsafe_emergency_brake_system

VEHI.CO Multipurpose Pedal Robot (2021). *ONE ROBOT - TWO PEDAL OPTIONS.* [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.vehico.com/en/multipurpose-pedal-robot>

VEHI.CO (2021). *WELCOME TO THE WORLD OF OBJECTIVE VEHICLE TESTING.* [Publicación en línea]. Recuperado de <https://www.vehico.com/en/index.php>

WIKIPEDIA. The Free Encyclopedia (2021). *Society of Automotive Engineers [SAE International].* Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_International

Anexos

Tabla A.1 Normas Mexicanas (NMX) sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos

NMX	Título
NMX-D-002-1970	Grafito empleado en el revestimiento de forros para frenos (balatas)
NMX-D-005-1980	Automóviles y camiones- frenos- método de prueba de sistemas de frenos para automóviles, camiones y autobuses
NMX-D-012-CT-1984	Industria automotriz - Líquido para frenos - corrosión - método de prueba
NMX-D-013-CT-1984	Industria automotriz - Líquido para frenos - efecto sobre el hule - método de prueba
NMX-D-014-CT-1984	Industria automotriz — Líquido para frenos — PH —Método de prueba
NMX-D-015-CT-1984	Industria automotriz - Líquido para frenos - estabilidad - método de prueba
NMX-D-016-CT-1984	Industria automotriz - Líquido para frenos- compatibilidad - método de prueba
NMX-D-022-1974	Requisitos para estufas de laboratorio, usadas en pruebas de envejecimiento acelerado de gomas para frenos hidráulicos, empleadas en vehículos automotores
NMX-D-025-1970	Método de prueba para determinar la resistencia al impulso de mangueras de frenos hidráulicos automotrices
NMX-D-026-CT-1981	Automóviles y camiones- ensambles de mangueras para frenos hidráulicos- prueba de resistencia a la fatiga por flexión dinámica
NMX-D-027-1970	Método de prueba para la determinación del aumento de volumen y la resistencia a la presión en las mangueras de frenos hidráulicos automotrices
NMX-D-038-CT-1982	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos
NMX-D-053-CT-1988	Autotransporte-automóviles y camiones-balatas y pastas de fricción-extracción por acetona de resinas plastificantes en productos moldeados o laminados-métodos de prueba
NMX-D-059-1995-SCFI	Automóviles y camiones-materiales de fricción-coeficiente de fricción-método de prueba
NMX-D-065-1976	Calidad de las gomas de hule empleadas en los frenos hidráulicos a tambor de los vehículos automotores.
NMX-D-066-1977	Determinación de la resistencia al líquido para frenos hidráulicos a temperatura elevada de los sellos de hule

NMX	Título
NMX-D-067-1972	Método de prueba para la determinación del equilibrio de la temperatura de ebullición a reflujo, del líquido para frenos hidráulicos, empleado en vehículos automotores
NMX-D-068-1976	Determinación de las características de precipitación de los sellos de hule empleados en los sistemas de frenos hidráulicos
NMX-D-069-1977	Determinación de la resistencia al líquido para frenos hidráulicos a presión y temperatura elevadas de los sellos de hule
NMX-D-079-1976	Determinación de la resistencia a temperatura elevada en aire seco de los sellos de hule empleados en los sistemas de frenos hidráulicos
NMX-D-081-1977	Determinación de la resistencia al líquido para frenos hidráulicos a alta presión y temperatura ambiente de los sellos de hule
NMX-D-082-1976	Determinación del poder corrosivo, de sellos de hule empleados en sistemas de frenos hidráulicos de vehículos automotores
NMX-D-083-1977	Determinación de las posibles fugas del líquido para frenos que permiten los sellos de hule empleados en los sistemas de frenos hidráulicos
NMX-D-087-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensambles de cilindros de rueda para frenos hidráulicos a tambor - durabilidad a alta temperatura - método de prueba
NMX-D-088-1977	Sellos de hule empleados en los sistemas de frenos hidráulicos
NMX-D-102-1995-SCFI	Industria automotriz - forros para frenos (balatas) - compresibilidad - método de prueba
NMX-D-110-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensambles de cilindro de rueda para frenos hidráulicos a tambor - resistencia a baja temperatura - método de prueba
NMX-D-113-1976	Determinación del contenido de cenizas y humedad en pastas de fricción utilizadas en vehículos automotores
NMX-D-116-CT-1984	Industria automotriz - Líquido para frenos- evaporación-método
NMX-D-117-1972	Método de prueba para la determinación de la resistencia a la oxidación del Líquido para frenos hidráulicos empleado en vehículos automotores
NMX-D-118-1972	Método de prueba para la determinación de la tolerancia al agua del líquido para frenos hidráulicos
NMX-D-119-1972	Método de prueba, para la determinación de la fluidez y apariencia a bajas temperaturas, del líquido para frenos empleado en vehículos automotores
NMX-D-120-1972	Método de prueba para la determinación del comportamiento en servicio simulado, del líquido para frenos hidráulicos empleado en vehículos automotores
NMX-D-124-1974	Determinación de la resistencia a la extracción de los componentes de las gomas para frenos hidráulicos empleadas en vehículos automotores

NMX	Título
NMX-D-125-1973	Método de prueba para determinar el poder corrosivo durante el almacenamiento de las gomas para frenos hidráulicos empleadas en vehículos automotores
NMX-D-126-1974	Determinación de la resistencia de las gomas para frenos hidráulicos empleadas en vehículos automotores al líquido para frenos a temperaturas elevadas
NMX-D-127-1975	Determinación de la resistencia al líquido para frenos, a presión y temperatura elevadas, de las gomas para frenos hidráulicos empleadas en vehículos automotores
NMX-D-128-1973	Determinación de la resistencia a bajas temperaturas de las gomas para frenos hidráulicos, empleadas en vehículos automotores
NMX-D-129-1974	Determinación de la resistencia al envejecimiento en estufa, de las gomas para frenos hidráulicos empleadas en vehículos automotores
NMX-D-130-1974	Determinación de la acción corrosiva de las gomas del cilindro maestro y cilindro de rueda, usadas en frenos hidráulicos de vehículos automotores
NMX-D-131-1977	Método de prueba para determinar la gravedad específica de pastas de fricción, utilizadas en vehículos automotores
NMX-D-140-CT-1988	Autotransporte-automóviles y camiones-balatas para frenos-determinación de la dureza Gogan-métodos de prueba
NMX-D-142-1978	Industria automotriz- frenos de disco- determinación de la temperatura de ebullición en húmedo a reflujo equilibrado
NMX-D-148-1979	Determinación de la distancia de frenado en vehículos de hasta 2,727 kg de PBV
NMX-D-153-CT-1988	Autotransporte-automóviles y camiones-balatas para frenos-determinación del coeficiente de fricción y desgaste, utilizando la maquina fast
NMX-D-161-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos- prueba de fugas
NMX-D-174-1980	Automóviles y camiones - frenos hidráulicos- ensambles de manguera conector-prueba de no obstrucción
NMX-D-176-1980	Automóviles y camiones-ensambles de mangueras para frenos hidráulicos-prueba de resistencia a la tensión
NMX-D-177-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos - prueba de expansión volumétrica
NMX-D-183-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos-prueba de resistencia a la presión hidráulica
NMX-D-184-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos - prueba de absorción de agua
NMX-D-185-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos- prueba de resistencia al ozono

NMX	Título
NMX-D-190-1995-SCFI	Industria automotriz - balatas - resistencia al desprendimiento de frenos de disco y tambor - método de prueba
NMX-D-191-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos - determinación de la resistencia a la corrosión - método de rocío salino
NMX-D-193-CT-1981	Automóviles y camiones - ensambles de mangueras para frenos hidráulicos determinación de la resistencia al doblado a baja temperatura
NMX-D-201-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones-ensamble del cilindro de rueda para frenos hidráulicos - libre avance y retroceso de los émbolos - método de prueba
NMX-D-206-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble del cilindro de rueda para frenos hidráulicos - resistencia al ozono - método de prueba
NMX-D-207-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble del cilindro de rueda para frenos hidráulicos - resistencia a la humedad - método de prueba
NMX-D-213-1983	Autotransporte-automóviles y camiones-tractor- remolque- presiones en líneas de freno y eficiencia de frenado-método de prueba.
NMX-D-215-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble de cilindro de rueda para frenos hidráulicos a tambor - fugas a alta presión hidráulica - método de prueba
NMX-D-216-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble de cilindro de rueda para frenos hidráulicos a tambor - resistencia mecánica -
NMX-D-217-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble del cilindro de rueda para frenos hidráulicos a tambor - fugas en reposo - método de prueba
NMX-D-219-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos - cubrepolvos- resistencia estática al calor - método de prueba
NMX-D-220-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos tipo tambor -cubrepolvos
NMX-D-221-1995-SCFI	Automóviles y camiones - forros para frenos (balatas) - sistema de identificación por coeficiente de fricción
NMX-D-223-1995-SCFI	Industria automotriz - forros para frenos (balatas) - efecto del calor sobre las dimensiones y forma del freno de disco - método de prueba
NMX-D-228-SCFI-2015	Criterios, procedimientos y equipo para la revisión de las condiciones fisicomecánicas de los vehículos automotores en circulación cuyo peso bruto vehicular no excede los 3 857 kg
NMX-D-232-CT-1984	Autotransporte - automóviles y camiones - ensambles para cilindro de rueda para frenos hidráulicos - corrosión en almacenaje - método de prueba

NMX	Título
NMX-D-235-CT-1985	Autotransporte - automóviles y camiones - ensamble de cilindro de rueda para frenos hidráulicos a tambor
NMX-D-236-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones — frenos hidráulicos - cubrepolvos - resistencia al ozono -método de prueba
NMX-D-237-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos - cubrepolvos - resistencia al funcionamiento a baja temperatura - método de prueba
NMX-D-238-CT-1986	Autotransporte-automóviles y camiones-frenos hidráulicos-cubrepolvos-resistencia a la deformación en montaje-método de prueba
NMX-D-239-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos - cubrepolvos - resistencia al calor en funcionamiento - método de prueba
NMX-D-240-CT-1986	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos - cubrepolvos - resistencia al Líquido para frenos a la alta temperatura - método de prueba
NMX-D-246-1987	Autotransporte - automóviles y camiones - frenos hidráulicos - tornillos purgadores - par de apriete- método de prueba
NMX-D-255-CT-1988	Autotransporte-automóviles y camiones-frenos hidráulicos-resortes
NMX-D-257-CT-1989	Remolques y semirremolques - ejes sin tracción - prueba en dinamómetro para frenos
NMX-D-304-IMNC-2006	Autopartes-discos y tambores para frenos de automóviles y camiones ligeros-especificaciones de seguridad y métodos de prueba.
NMX-D-313-IMNC-2015	Sistemas de frenos de aire.
NMX-D-315-IMNC-2015	Material de fricción para sistema de frenos.

Tabla A.2 Estándares publicados por SAE International sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos

SAE	Título
J10_201811	Requisitos de identificación y de rendimiento del depósito de frenos de aire para vehículo en carretera y fuera de carretera — Camión y autobús
J46_199310	Código de prueba en carretera del sistema de control de frenos de deslizamiento de las ruedas
J75_201807	Compatibilidad de los recipientes de líquido de frenos para vehículos de motor
J101_201307	Cilindros de rueda hidráulicos para frenos de tambor de automóviles
J134_201304	Código de prueba en carretera del sistema de frenos — automóviles y combinaciones de camión—remolque de carga ligera
J135_201304	Requisitos de rendimiento del sistema de frenos de servicio: combinaciones de vehículos de pasajeros y remolques
J201_201307	Procedimiento de prueba del desempeño de los frenos de servicio para automóviles y camiones de carga ligera
J212_200812	Procedimientos de prueba del sistema de frenos en el dinamómetro — automóviles
J225_200304	Procedimiento de prueba de campo de distribución de la fuerza de frenado para camiones y autobuses
J229_201306	Procedimiento de prueba de la integridad estructural de los frenos de servicio - Vehículos de pasajeros
J257_201907	Requisitos de potencia de los frenos — Camión y autobús
J291_201304	Determinación de la temperatura del líquido de freno
J293_201706	Requisitos de desempeño de freno de estacionamiento en pendiente para camiones y autobuses
J294_201506	Procedimiento de prueba de integridad estructural de los frenos de servicio - Vehículos de más de 4500 kg (10000 lb) de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)GVWR
J299_200901	Procedimiento de prueba de distancia de frenado
J345_201802	Tracción y frenado máximo y con rueda bloqueada sobre pavimento seco o mojado de neumáticos de automoviles
J360_202008	Procedimiento de prueba de rendimiento de estacionado en pendiente para camiones y autobuses
J379_201702	Dureza Gogan de los forros de freno
J656_198804	Definiciones y nomenclatura de los frenos de vehículos automotores
J661_202110	Procedimiento de prueba de la calidad de los forros de freno (ESTABILIZADO en noviembre de 2012)
J662_201105	Chaflán del bloque de freno
J663_201306	Remaches para forros de freno y pernos para bloques de freno - Camión y autobús

SAE	Título
J670_200801	Terminología de la dinámica del vehículo
J786A_199812	Código de inspección técnica del sistema de frenos - Camiones, autobuses y vehículos combinados
J840_201711	Procedimientos de prueba para resistencia a cortante de los ensambles de pastillas y forros de freno para automóviles
J843_201303	Código de prueba en carretera del sistema de frenos - Vehículos de pasajeros y camiones ligeros
J866_201903	Identificación del coeficiente de fricción y sistema de marcado ambiental de los forros de freno
J880_201110	Código de prueba de clasificación del sistema de frenos — Vehículos comerciales
J982_199001	Código de prueba — Niveles de tiempo y presión neumática del sistema de frenos de aire de servicio de camiones, tractocamiones y remolques
J992_199812	Requisitos de rendimiento del sistema de frenos — Camión, autobús y combinación de vehículos
J1106_201208	Máquinas de prueba de laboratorio para medir las fuerzas de estado estable y las propiedades de par para llantas de automóviles
J1153_201202	Procedimiento de prueba de cilindros maestros hidráulicos para frenos de vehículos de motor (Estabilizada febrero 2012)
J1154_201202	Requerimientos de desempeño de cilindros maestros hidráulicos para frenos de vehículos de motor (Estabilizada febrero 2012)
J1047_199811	Tubería - Sistema de frenos hidráulicos de vehículos de motor
J1247_201405	Procedimiento de prueba de rendimiento simulado de frenos en montaña
J1250_200009	Procedimiento de prueba de desempeño de los frenos de servicio — vehículos de más de 4500 kg (10 000 lb)
J1340_201109	Método de prueba para medir el consumo de energía de los compresores de aire acondicionado y de frenos para camiones y autobuses
J1401_201302	Vehículo de carretera — Conjuntos de mangueras de freno hidráulico para uso con fluidos hidráulicos no derivados del petróleo
J1402_201710	Mangueras de freno de aire y sus ensambles de vehículos automotores
J1403_201409	Mangueras de freno de vacío (Estabilizada en septiembre 2014)
J1404_201904	Requisitos de integridad estructural de los frenos de servicio — Camiones y autobuses
J1406_201207	Aplicación de la manguera del freno hidráulico a los vehículos de motor — Extremo de la rueda y eje
J1409_202012	Procedimiento de prueba de las válvulas de los frenos de aire
J1410_202012	Válvula de freno de aire — Requisitos de rendimiento

SAE	Título
J1450_200905	Procedimiento de prueba del diafragma del actuador del freno de aire
J1452_201811	Procedimiento de prueba del desempeño del freno de estacionamiento en pendiente para remolque
J1461_201404	Procedimiento de prueba del ajustador manual de holgura
J1462_202103	Procedimiento de prueba del ajustador de freno automático externo — Camión y autobús
J1469_201903	Procedimiento de prueba del actuador de los frenos de aire, tractocamión, autobús y remolques
J1476_201910	Procedimiento de prueba de la integridad estructural del freno de estacionamiento para vehículos de más de 4500 kg (10000 lb) de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD) — Camión y autobús
J1505_201107	Procedimiento de prueba de la distribución de la fuerza de frenado - Camiones y autobuses
J1601_201103	Copas de goma para cilindros de accionamiento hidráulico (Estabilizada marzo 2011)
J1603_201412	Sellos de hule para cilindros de frenos de disco hidráulicos
J1609_202006	Guía de desempeño de la capacidad del depósito de aire — Camiones y autobuses
J1626_201205	Procedimientos de prueba de rendimiento de frenado, estabilidad y control para camiones, tractocamiones y autobuses equipados con frenos de aire e hidráulicos
J1626/1_200906	Práctica recomendada para el procedimiento de prueba de rendimiento de frenado, estabilidad y control para tractocamiones equipados con frenos de aire
J1626/2_201701	Práctica recomendada para el procedimiento de prueba de rendimiento de frenado, estabilidad y control para camiones y autobuses equipados con frenos de aire
J1671_201910	Dimensiones de la interfaz entre el tambor de freno montado en el exterior y el cubo de la rueda del disco - Camión y autobús
J1703_201909	Fluido de frenos de vehículos automotores
J1705_202105	Líquidos de frenos poco tolerantes al agua
J1713_201411	Prueba de la estructura de los frenos de disco de vehículos de pasajeros y de camiones
J1729_201910	Procedimiento de prueba de tracción con barra de arrastre para freno de estacionamiento — Camión y autobús
J1801_201906	Marcado de la eficacia de los frenos para los bloques de frenos — Camión autobús
J1802_201906	Clasificación de la eficacia del bloque de freno
J1817_201802	Marcado del actuador de freno de aire de carrera larga
J1854_201309	Guía de rendimiento de la distribución de la fuerza de frenado — Camión y autobús

SAE	Título
J1865_202011	Compatibilidad dimensional para vehículos comerciales Montaje de ruedas completas en aplicaciones de frenos de tambor — Camión y autobús
J1911_201402	Procedimiento de prueba de la capacidad del depósito de aire — Camión y autobús
J1953_201805	Guía de diseño del indicador de la carrera del freno para actuadores de freno de aire de leva o de disco
J2024_201305	Contaminantes para las pruebas de los componentes de los frenos de aire y los dispositivos neumáticos auxiliares - Camión y autobús
J2115_202008	Código de prueba de rendimiento y desgaste de los frenos de aire con dinamómetro de inercia para vehículos comerciales
J2246_201404	Revisión del sistema de frenos antibloqueo
J2247_201912	Toma de corriente del tractocamión para el ABS del semirremolque
J2255_201910	Procedimiento de prueba de consumo de energía de los sistemas de frenos antibloqueo para tractocamiones, autobuses, remolques y convertidores (dollies) equipados con frenos de aire
J2318_202002	Requisitos de rendimiento de la prueba del actuador del freno de aire — Camión y autobús
J2377_201411	Procedimiento de prueba para el suministro de aire de tractocamiones y camiones de remolque
J2430_201211	Prueba de caracterización de la eficacia del dinamómetro para los productos de frenos de fricción de los frenos de automóviles y camiones ligeros
J2505_201008	Medición del arrastre por fricción de vehículo-carretera
J2522_201409	Eficacia global de frenos en dinamómetro
J2536_201111	Procedimiento de evaluación del sistema de frenos antibloqueo (ABS) en carretera para camiones, tractocamiones y autobuses
J2580_201611	Identificación e instalación de los componentes del sistema de frenos de aire
J2598_202012	Prueba de frecuencia natural y amortiguamiento de las pastillas de freno de disco para automóviles
J2624_201306	Evaluación integral del forro de frenos — Vehículo
J2627_200908	Definiciones del sistema de frenado - Camión y Autobús
J2654_201508	Dureza de los forros de freno
J2671_200408	Frenos de esfuerzo reducido y sistemas de respaldo de frenos de vacío de esfuerzo reducido
J2673_202103	Prueba de frenado en línea recta para neumáticos de camiones y autobuses
J2675_201711	Prueba combinada de frenado en curva para neumáticos de camión y autobús

SAE	Título
J2684_201812	FMVSS 105. Procedimiento de prueba del dinamómetro de frenos de inercia para vehículos de más de 4540 kg de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)
J2686_201710	Práctica recomendada para la calificación de tambores de freno
J2688_202007	Identificación del control del freno de estacionamiento — vehículos con sistemas de frenos hidráulicos y transmisiones automáticas
J2690_202110	Procedimiento de prueba del freno de estacionamiento para vehículos de carga mediana
J2696_201909	Dimensiones de la interfaz entre el rotor del freno de disco montado en el interior y el cubo de la rueda del disco — Vehículos comerciales
J2707_202106	Procedimiento de prueba de desgaste en dinamómetro de inercia para materiales de fricción de frenos (ESTABILIZADO octubre de 2012)
J2784_202101	Procedimiento de prueba del dinamómetro de inercia FMVSS para vehículos de menos de 4540 kg de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)
J2789_201809	Cálculo de la inercia para la prueba de un solo extremo con dinamómetro inercial
J2803_202006	Compatibilidad dimensional de ruedas de vehículos comerciales con pinzas de frenos de disco accionados por aire — Camión y autobús
J2879_201107	Juntas de tubo del freno hidráulico para automóviles
J2899_201706	Límite de ajuste de los frenos para los actuadores de frenos de aire
J2902_202012	Procedimiento de prueba del actuador del freno de disco de aire, tractocamión, autobús y remolque
J2909_201806	Procedimiento de prueba de distancia de frenado de vehículos ligeros en seco y en mojado
J2923_201605	Procedimiento de prueba para la medición del arrastre de frenos de disco por dinamómetro inercial vehículos con un Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD) inferior a 4540 kg
J2928_201805	Procedimiento de agrietamiento térmico del rotor del freno para vehículos de menos de 4540 kg de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)
J2932_201712	Requisitos de prueba del actuador de frenos de disco de aire
J2933_201103	Verificación de las frecuencias modales del rotor del freno
J2963_201810	Resumen de las normas federales de seguridad de vehículos de motor (FMVSS) relacionadas con las luces de freno y las interpretaciones de la NHTSA, en relación con el ATC, las intervenciones del control de estabilidad, los frenos de retardador de motor y de escape
J2975_202007	Medición del cobre y otros elementos en los materiales de fricción de los frenos

SAE	Título
J2986_201901	Mediciones de desgaste de pastillas, forros, discos y tambores de freno
J2995_201703	Pruebas de resistencia y durabilidad de los componentes de los frenos hidráulicos del automóvil
J3002_202101	Procedimiento de prueba de ruido de baja frecuencia del dinamómetro de frenos de disco y de tambor
J3006_202005	Procedimientos de prueba de desgaste de los frenos hidráulicos con dinamómetro de inercia de baja intensidad para vehículos de más de 4536 kg (10000 libras) de Peso Bruto Vehicular de Diseño (PBVD)
J3029_201510	Procedimiento de prueba de advertencia y mitigación de colisión frontal — Camión y Autobús
J3080_201905	Procedimiento de prueba de grieta del rotor en el dinamómetro de inercia para frenos de disco de aire
J3087_201710	Pruebas de rendimiento del sistema de frenado automático de emergencia (AEB)
J3175_201911	Vehículos de carretera — Materiales de fricción — Pastilla de freno terminada. Constante elástica normalizada del material de fricción

Tabla A.3 Estándares publicados por ISO sobre elementos y sistemas de frenos o su desempeño para diferentes vehículos de carretera

Estándar	Título o tópico reglamentado
ISO 611:2003	Vehículos de carretera — Frenado de vehículos automotores y sus remolques — Vocabulario
ISO 1728:2006	Vehículos de carretera — Conexiones de frenado neumático entre vehículos de motor y vehículos remolcados — Intercambiabilidad
ISO 3583:1984	Vehículos de carretera — Conexión de prueba de presión para equipos de frenado neumático de aire comprimido
ISO 3803:1984	Vehículos de carretera — Conexión de prueba de presión hidráulica para equipos de frenado
ISO 3871:2000	Vehículos de carretera — Etiquetado de los envases de líquido de frenos derivados y no derivados del petróleo
ISO 3996:1995	Vehículos de carretera — Ensamblajes de tuberías de frenos para sistemas de frenado hidráulico utilizados con líquido de frenos no derivado del petróleo
ISO 4038:1996	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado hidráulico - Tubos abocardados simples, agujeros roscados, conectores macho y conectores con espiga para manguera
ISO 4039-1:1998	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado neumático — Parte 1: Tubos, conectores y orificios roscados con superficie de sellado facial
ISO 4039-2:1998	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado neumático — Parte 2: Tubos, conectores y orificios con superficie de estanqueidad cónica
ISO 4925:2020	Vehículos de carretera — Especificación de líquidos de frenos no derivados del petróleo para sistemas hidráulicos
ISO 4926:2020	Vehículos de carretera — Dispositivos de frenado hidráulico — Líquido de referencia no derivado del petróleo
ISO 4927:2005	Vehículos de carretera — Botas elastoméricas para cilindros de rueda de frenos hidráulicos de tambor que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio de 120 °C)
ISO 4928:2006	Vehículos de carretera — Copas y juntas elastoméricas para cilindros de sistemas de frenado hidráulico que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio 120 °C)
ISO 4929:1978	Vehículos de carretera — Juntas de diafragma para depósitos de cilindros maestros de frenos hidráulicos que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del petróleo
ISO 4930:2006	Vehículos de carretera — Juntas elastoméricas para cilindros de frenos de disco hidráulicos que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del (Temperatura máxima de servicio 150 °C)
ISO 6117:2005	Vehículos de carretera — Copas elastoméricas para cilindros de ruedas de frenos hidráulicos de tipo tambor que utilizan

Estándar	Título o tópico reglamentado
	líquido de frenos hidráulico no derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio 100 °C)
ISO 6118:2006	Vehículos de carretera — Copas y juntas elastoméricas para cilindros de sistemas de frenado hidráulico que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio de 70 °C)
ISO 6119:2006	Vehículos de carretera — Juntas elastoméricas para cilindros de frenos de disco hidráulicos que utilizan líquido de frenos hidráulico no derivado del (temperatura máxima de servicio 120 °C)
ISO 6120:1995	Vehículos de carretera — Ensamble de tuberías de frenos para sistemas de frenado hidráulico utilizados con líquido de frenos derivado del petróleo
ISO 6310:2009	Vehículos de carretera — Forros de freno — Métodos de prueba de deformación por compresión
ISO 6311:1980	Vehículos de carretera — Forros de freno — Resistencia al cizallamiento interno del material del forro — Procedimiento de prueba
ISO 6312:2010	Vehículos de carretera — Forros de freno — Procedimiento de prueba de cizallamiento para ensambles de pastillas de freno de disco y zapatas de freno de tambor
ISO 6313:1980	Vehículos de carretera — Forros de freno — Efectos del calor sobre las dimensiones y la forma de las pastillas de freno de disco — Procedimiento de prueba
ISO 6314:1980	Vehículos de carretera — Forros de freno — Resistencia al agua, a la solución salina, al aceite y al líquido de frenos - Procedimiento de prueba
ISO 6315:1980	Vehículos de carretera — Forros de freno — Agarre a la superficie de contacto ferrosa debido a la corrosión — Procedimiento de prueba
ISO 6597:2005	Vehículos de carretera — Dispositivos de frenado hidráulico, incluidos los que tienen funciones de control electrónico, para vehículos de motor — Procedimientos de prueba
ISO 6786:1980	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado de aire — Identificación de las conexiones en las unidades
ISO 7308:1987	Vehículos de carretera — Líquido de frenos a base de petróleo para frenos hidráulicos de energía almacenada
ISO 7309:1985	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado hidráulico — Referencia ISO del líquido derivado del petróleo
ISO 7375-1:1986	Vehículos de carretera — Ensamblajes de tubos en espiral para la conexión de frenado neumático entre vehículos de motor y vehículos remolcados — Parte 1: Dimensiones
ISO 7375-2:1998	Vehículos de carretera — Ensamble de tubos en espiral para la conexión de frenos neumáticos entre vehículos de motor y vehículos remolcados — Parte 2: Requerimientos de desempeño

Estándar	Título o tópico reglamentado
ISO 7628:2010	Vehículos de carretera — Tubos de termoplástico para sistemas de frenado de aire
ISO 7629:1987	Vehículos de carretera — Forros de freno — Pastillas de freno de disco — Evaluación de los defectos de la superficie y del material después del ensayo
ISO 7630:1985	Vehículos de carretera — Juntas tóricas elastoméricas para cilindros de ruedas de frenos de tambor hidráulicos que utilizan líquido de frenos hidráulico derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio 120 °C)
ISO 7631:1985	Vehículos de carretera — Copas y juntas elastoméricas para cilindros de sistemas de frenado hidráulico que utilizan líquido de frenos hidráulico derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio de 120 °C)
ISO 7632:1985	Vehículos de carretera — Juntas elastoméricas para cilindros de frenos de disco hidráulicos que utilizan líquido de frenos hidráulico derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio 120 °C)
ISO 7633:1985	Vehículos de carretera — Fundas elastoméricas para cilindros de rueda de frenos hidráulicos de tambor que utilizan líquido de frenos hidráulico derivado del petróleo (temperatura máxima de servicio de 120 °C)
ISO 7634:2007	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado de aire comprimido para vehículos remolcados, incluidos los que tienen funciones de control electrónico del frenado — Procedimientos de prueba
ISO 7635:2006	Vehículos de carretera — Sistemas de frenado de aire y aire/hidráulico de los vehículos de motor, incluidos los que tienen funciones de control electrónico — Procedimientos de prueba
ISO 7975:2019	Automóviles de pasajeros — Frenado en curva — Método de prueba de lazo abierto
ISO 8710:2010	Motonetas — Sistema de freno y frenos — Métodos de medición y prueba
ISO 8710:2010	Motocicletas — Sistema de freno y frenos — Métodos de medición y prueba
ISO 9128:2006	Vehículos de carretera — Símbolos gráficos para designar los tipos de líquido de frenos
ISO 11157:2005	Vehículos de carretera — Ensamblajes de forros de freno — Método de prueba con dinamómetro de inercia
ISO 12161:2006	Vehículos de carretera — Resistencia de los sistemas de frenado de vehículos de motor y vehículos remolcados — Procedimientos de prueba
ISO 13486-1:1999	Vehículos de carretera — Dispositivos de frenado hidráulico — Parte 1: Tubos de doble abocardado, orificios roscados, conectores macho y asientos de tubo

Estándar	Título o tópico reglamentado
ISO 14512:1999	Automóviles de pasajeros — Frenado en línea recta en superficies con coeficiente de fricción dividido — Procedimiento de prueba de lazo abierto
ISO 14794:2011	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Frenado en curva — Métodos de prueba de lazo abierto
ISO 15222:2021	Neumáticos para camiones y autobuses — Método para medir las prestaciones de adherencia relativa en superficie mojada — Neumáticos nuevos con carga
ISO 15484:2008	Vehículos de carretera - Materiales de fricción de los forros de freno — Definición del producto y aseguramiento de calidad
ISO 16234:2006	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Frenado en línea recta en superficies con coeficiente de fricción dividido — Método de prueba de lazo abierto
ISO 16552:2014	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Distancia de frenado en línea recta con ABS — Métodos de prueba en lazo abierto y en lazo cerrado
ISO 19377:2017	Vehículos comerciales pesados y autobuses — Frenado de emergencia en una trayectoria definida — Método de prueba para la medición de la trayectoria
ISO 20901:2020	Sistemas inteligentes de transporte — Sistemas de luces de freno electrónico de emergencia (EEBL) — Requisitos de rendimiento y procedimientos de prueba
ISO 20918:2007	Vehículos de carretera — Presiones de umbral de frenado para combinaciones de vehículos comerciales pesados con sistemas de frenado totalmente neumáticos — Prueba con frenómetro de rodillos
ISO 21069-1:2004	Vehículos de carretera. Prueba de los dispositivos de frenado de los vehículos con una masa total máxima autorizada superior a 3.5 t mediante un frenómetro de rodillos: Parte 1: Dispositivos de frenado neumáticos.
ISO 21069-2:2008	Vehículos de carretera — Prueba de los dispositivos de frenado de los vehículos con una masa total máxima autorizada superior a 3.5 t utilizando un frenómetro de rodillos — Parte 2: Dispositivos de frenado neumáticos sobre hidráulicos y puramente hidráulicos
ISO 21994:2007	Automóviles de pasajeros — Distancia de frenado en línea recta con ABS — Método de prueba en lazo abierto
ISO 21995:2008	Vehículos de carretera — Prueba de los dispositivos de frenado neumático de los vehículos con una masa total autorizada superior a 3.5 t — Adquisición y utilización de los valores de referencia mediante un frenómetro de rodillos
ISO 22733-1:2021	Vehículos de carretera — Método de prueba para evaluar las prestaciones de los sistemas autónomos de frenado de emergencia — Parte 1: Coche a coche

Estándar	Título o tópico reglamentado
ISO 26865:2009	Vehículos de carretera — Materiales de fricción de los forros de freno — Procedimiento estándar de prueba de rendimiento para vehículos comerciales con frenos de aire
ISO 26866:2009	Vehículos de carretera — Materiales de fricción de los forros de freno — Procedimiento estándar de prueba de desgaste para vehículos comerciales con frenos de aire
ISO 26867:2009	Vehículos de carretera — Materiales de fricción de los forros de freno — Evaluación del comportamiento de la fricción en los sistemas de frenado de automóviles
ISO 27667:2011	Vehículos de carretera — Materiales de fricción de los forros de freno — Evaluación de los efectos de la corrosión en los platos de apoyo pintados y en las zapatas de freno



COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,
Querétaro, México. C.P. 76703
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610
Fax: +52 (442) 216 9671

publicaciones@imt.mx

<http://www.imt.mx/>