

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE
JOSÉ MIGUEL CARRERA



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

“Revisión, análisis y modificación del sistema de
frenos en un vehículo Citroën AX GTi año 1996”

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Técnico Universitario en
MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Alumnos:

Alexander Álvarez
Alonso Escala
Profesor Guía: Walter Adrián Ottwin
Lemus

2023



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Revisión, análisis y modificación del sistema de frenos en un vehículo Citroën AX GTi año 1996

Nombre del candidato(a): Alexander Rodrigo Alvarez Pinto

Carrera / Grado: Tecnico Universitario En Mecanica Automotriz

Campus: Viña del Mar ; Departamento: Mecanica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Walter Adrián Ottwin Lemus, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: /10/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/09/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Revisión y modificación del sistema de frenos en un vehículo Citroën AX GTi

Nombre del candidato(a): Alonso Javier Escala Galarce

Carrera / Grado: Técnico universitario en mecánica automotriz

Campus: Viña del Mar ; Departamento: mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Walter Adrián Ottwin Lemus, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 07/10/2025

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 30/09/2025

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS GENERALES.....	2
Objetivos específicos.....	2
Conceptos utilizados	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS VEHÍCULOS EN ESTUDIO	8
1.1 Citroën AX.....	8
1.2 Citroën AX GTi.....	9
1.3 Citroën AX GT.....	13
1.4 Peugeot 106 S16.....	14
CAPÍTULO 2: EL SISTEMA DE FRENOS EN APLICACIONES CIVILES	18
2.1 ¿Qué es el sistema de frenos?.....	18
2.2 Sistema de frenos en un Automóvil	19
2.3 Componentes del sistema de frenos	19
2.4 Funcionamiento del sistema de frenos	36
2.5 Fuerzas involucradas en el movimiento y frenado del vehículo:	38
2.6 Frenado en aplicaciones deportivas	40
2.7 Ejemplificación de una maniobra de frenado en automovilismo deportivo.....	41
CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE FRENOS EQUIPADOS EN LOS CITROEN AX EN ESTUDIO	48
3.1 Frenos delanteros de 266 [mm]	48
3.2 Frenos traseros de tambor.....	49
3.3 Frenos de disco de 247 [mm]	49
CAPÍTULO 4: ENSAYO COMPARATIVO DE DISTANCIAS DE FRENADO	51
4.1 Consideraciones generales.....	51
4.2 Factores considerados en la realización del estudio comparativo	53
4.3 Especificaciones técnicas de cada conjunto de frenos.....	55
4.4 Consideraciones previas al procedimiento comparativo.....	58

4.5 Procedimiento comparativo:	58
4.6 Calculo de fuerza de frenado	59
4.7 Par de frenado.....	66
4.8 Ubicación designada para la experimentación.....	69
4.9 Obtención de resultados y análisis de datos.....	70
CONCLUSIONES	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Imagen referencial, vehículo Citroën AX GT.

Figura 1-2: Citroën AX GTi en estudio.

Figura 1-3: Neumático tipo Semislick Yokohama Advan Neova AD08R.

Figura 1-4: Citroën AX utilizado para los ensayos de distancia de frenado.

Figura 1-5: Imagen referencial, Peugeot 106 S16.

Figura 1-6: Imagen referencial, rueda delantera perteneciente al vehículo Peugeot 106 S16.

Figura 1-7: Imagen referencial, rueda trasera perteneciente al vehículo Peugeot 106 S16.

Figura 2-8: Pedal de freno señalado entre el conjunto de pedales del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-9: Conjunto de servo freno, bomba de freno y recipiente de líquido de frenos del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-10: Bomba de frenos, vista en corte.

Figura 2-11: Bomba de frenos de 4 salidas, perteneciente al vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-12: Caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-13: Caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-14: Porta caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista posterior.

Figura 2-15: Porta caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista frontal.

Figura 2-16: Conjunto de frenos trasero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista posterior.

Figura 2-17: Conjunto de frenos trasero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista frontal.

Figura 2-18: Pastilla de freno delantera del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-19: Disco de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-20: Sección interior del disco de frenos ventilado delantero de 266 [mm], instalado en el vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Figura 2-21: Discos de freno delanteros carbocerámicos equipados en un Porsche 911 GT3 RS.

Figura 2-22: Mitsubishi Lancer Evolution X llevando a cabo una maniobra de frenado en una competencia de Rally sobre asfalto.

Figura 2-23: Vista general de la llamada “curva del estadio” en el autódromo de Quilpué.

Figura 2-24: Vista frontal del vehículo Citroën AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado en el primer tramo de la “curva del estadio”.

Figura 2-25: Vista frontal del vehículo Citroën AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado dentro de la parte interior de la “curva del estadio”.

Figura 2-26: Vista posterior del vehículo Citroën AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado cerca del término de la “curva del estadio”

Figura 2-27: Representación del sentido vectorial del concepto de momentum, generado por el vehículo Citroën AX GTi.

Figura 2-28: Representación en un simulador de conducción, del límite entre el final de la recta y el inicio de la “curva del estadio” en el autódromo de Quilpué.

Figura 4-29: Neumático Yokohama Advan Neova AD08R montado sobre la llanta Enkei RS+M.

Figura 4-30: Diferencia visual entre dimensiones de frenos GTi originales con respecto a frenos de S16, ambos autos equipados con llantas llantas aro 15.

Figura 4-31: Diferencia visual, AX GTi con frenos de disco atrás tipo S16 vs frenos de tambor originales GTi en la parte posterior del modelo GT.

Figura 4-32: Vista superior calle Aviador Acevedo, ubicación seleccionada para la experimentación.

INTRODUCCIÓN

Los vehículos son máquinas imprescindibles en el mundo moderno. Día a día personas con discapacidad, transportistas de diversas áreas, empresas de materia prima, utilizan vehículos motorizados para llevar a cabo sus quehaceres. Por otra parte, modificar un vehículo puede muchas veces ser sencillo y llamativo, tanto que, jóvenes atrevidos deciden elevar en grandes cifras la potencia de sus motores. Surge la pregunta ¿Cómo se piensa detener ese vehículo ahora mucho más potente y peligroso?

El frenado de un vehículo, en particular, de los automóviles es una operación compleja, eficaz, la cual debe ser infalible. Todo vehículo cuenta con un sistema de frenos, capaz de generar resistencia a el desplazamiento del mismo, hasta lograr su completa detención en el tiempo que se necesite. Sin embargo, en un vehículo utilizado en aplicaciones de automovilismo deportivo, el sistema de frenos original muchas veces se ve sobrepasado, producto del incremento en la potencia del motor del vehículo o al uso bajo velocidades excesivas. Basado en esto, se decide llevar a cabo un ensayo comparativo de distancias de parada, cuyo objetivo es comprender las capacidades de los sistemas de frenos, diferencias físicas de sus componentes y los pros y contras que el aumento de las dimensiones de ciertos componentes dentro del sistema generan.

En la siguiente memoria se analizan los conceptos básicos y esenciales para comprender la eficacia de frenado, así también se muestra cómo en base a la obtención de datos en tiempo real, se puede demostrar una mejora en la eficiencia térmica y eficacia de frenado. El vehículo en estudio posee modificaciones orientadas al uso en eventos de automovilismo deportivo. El proceso sobre el cual se encuentra el enfoque principal es la modificación de su sistema de frenos, llevado a cabo en respuesta a la necesidad de un frenado más eficaz, en una menor distancia y tiempo en aplicaciones de alta exigencia.

OBJETIVOS GENERALES

- Demostrar para qué se lleva a cabo una modificación en el sistema de frenos, y su importancia en un vehículo cuyo fin es el uso en automovilismo deportivo a todo aquel que requiera orientación con respecto al tema.

Objetivos específicos:

- Conocer ventajas generales al mejorar el sistema de frenos de un automóvil con el fin de comprender a profundidad la razón y necesidad, de modificar el sistema de frenos.
- Explicar diferencias entre un sistema de frenos para aplicaciones de automovilismo deportivo y un sistema de frenos para uso civil, para facilitar comprender en base a un ensayo de distancia de parada, las diferencias favorables que otorga un sistema de frenos de uso deportivo.
- Entender para qué se mejora el sistema de frenos, a través de diferencias reales entre dos conjuntos de frenos diferentes, expuestas a través de ensayos en busca de resultados favorables en el sistema de frenos mejorado del vehículo en estudio con respecto a un sistema de frenos no modificado.

Conceptos utilizados

Neumáticos “semi slicks”:

Neumáticos de compuesto más blando, diseñados para uso en aplicaciones de automovilismo deportivo y cotidiano. Usualmente fabricados en Treadwear 150 o valores cercanos al 50, el cual indica su resistencia al desgaste en dicho valor adimensional.

Energía cinética:

Es aquella que produce un vehículo al encontrarse en movimiento, representa la magnitud de su masa multiplicada por su velocidad.

Fricción:

Fenómeno dado cuando dos superficies entran en contacto oponiéndose una a la otra.

Eficacia de frenado:

Capacidad de los frenos de detener completamente un vehículo en toda situación.

Eficiencia del frenado:

Refiérase a la capacidad de los frenos para detener un vehículo con el menor desgaste material, reflejado físicamente en una menor temperatura en el sistema de frenos luego de realizar la detención del vehículo.

Agilidad del frenado:

Buen comportamiento de los frenos, respuesta ágil y responsiva, propia de un sistema de frenos mantenido con componentes de alta calidad.

Aplicaciones deportivas:

Define a todo ámbito donde un vehículo es sobre exigido y llevado a su máximo rendimiento en espacios aislados. En este tipo de aplicaciones un vehículo es usado de forma temeraria y a altas velocidades.

Time attack:

Disciplina del automovilismo deportivo, consiste en dar una vuelta a un circuito cerrado en el menor tiempo posible, es decir, recorrer un tramo cuyo inicio y fin es un mismo punto "A".

Energías motrices:

Refiérase a todo concepto asociado a la generación de movimiento (energía cinética, fuerza rotacional, etc.)

Fuerza mecánica:

Refiérase a toda fuerza aplicada sobre un objeto o elemento dentro de un sistema.

Presión hidráulica:

Es aquella que se ejerce a través de la compresión y posterior desplazamiento de un fluido hidráulico entre un punto "A" y un punto "B", generada por la oposición de un elemento al final del sistema, el cual permite que se dé un aumento de la presión del fluido dentro del circuito por donde este circule.

Despiche:

Estructura diseñada para liberar el aire de un sistema cerrado, diseñado para contener y permitir la circulación de fluidos.

Fuerza rotacional:

Es aquella fuerza generada por cualquier elemento, al que, al aplicarse una fuerza sobre él, comience a rotar sobre su propio eje. Se puede definir como un vector dirigido en el sentido de giro del elemento, en magnitudes tales como m/s, entre otros.

Single cam:

Definición otorgada a motores equipados únicamente con un árbol de levas.

Circuito:

Tramo en el que se inicia y termina un recorrido en el mismo punto inicial. Refiérase a establecimientos cerrados en donde se llevan a cabo competencias de automovilismo deportivo. Pueden ser pavimentados o incluso de tierra.

Frenada intensa y tardía:

Concepto coloquial, usado en el ámbito deportivo del automovilismo para señalar maniobras de frenado realizadas posterior al punto ideal de frenada, es decir, frenar de manera muy intensa y al límite de cada tramo dentro del circuito.

Frenos esponjosos:

Concepto coloquial utilizado para referirse a aquellos frenos que se encuentran en mal estado. La condición exacta de los frenos se da cuando existe aire en el circuito, o pérdida de líquido hidráulico en el sistema de frenos, ocasionando una pérdida de rigidez a la hora de pisar el pedal de freno. El efecto palpable, es un tramo de recorrido al pedal, en donde al pisar el freno, se percibe pérdida de la oposición por parte del mismo, previo a presentar una resistencia mayor, característica de frenos en estado optimo.

Brake fade:

Es el fenómeno ocasionado por la pérdida de tracción entre el disco de frenos o balatas y el disco o tambor respectivamente. Puede darse dado a un destemple del material ferroso, por una excesiva cristalización de la pastilla o incluso por la aparición de ondas caloríficas en forma de gas no disipadas entre las superficies de contacto (pastillas/disco por ej.)

Swap:

Refiérase a todo proceso donde se reemplace algún componente o sistema de un vehículo, ya sea motor, caja de cambios, frenos, etc.

DOT (Department of transportation):

Nomenclatura que indica la capacidad del fluido hidráulico para absorber vibraciones, causadas durante el funcionamiento del sistema de frenos. Cuanto mayor sea el número no define la calidad de un líquido, únicamente sirve para estimar un aumento en la rigidez del frenado. Propiedades como resistencia a la evaporación, humedad y calor son otorgadas de forma particular, según el diseño y aplicación del mismo líquido por cada fabricante.

ABS:

Abreviación para “Anti-lock Braking System”. Es un sistema electrónico dedicado al control del bloqueo del frenado. Posee un conjunto de válvulas con la capacidad de disminuir la presión hidráulica dentro del sistema de frenos, logrando así que, si una rueda se encuentra bloqueada, puesto a que la fuerza de frenado supera la tracción, esta recupere la tracción con el pavimento y su inercia o fuerza rotacional dependiendo del caso (en palabras sencillas, que vuelva a rotar).

Compuesto de calle:

Refiérase a todo material diseñado para uso en automóviles cotidianos, pensado para otorgar comodidad y suavidad en la conducción del vehículo. Su coeficiente de fricción suele ser de 0.3. Esto varía según la gama del vehículo en cuestión, sin embargo, el propósito final siempre será su uso en la vía pública.

Desembragar:

Refiérase a la acción de desconectar el motor de la transmisión del vehículo con el pedal de embrague. La finalidad de esta acción es propiciar un cambio de marchas, sin embargo, puede ser también usado con el fin de mantener un vehículo en “neutral”, sin la necesidad de realizar algún movimiento sobre la palanca de cambios.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS VEHÍCULOS EN ESTUDIO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LOS VEHÍCULOS EN ESTUDIO

ACLARACIÓN

Dentro de los estudios expuestos a continuación, se utilizan dos vehículos cuyo bastidor y elementos de chasis son idénticos, únicamente diferenciándose por su conjunto de frenos. Siendo la plataforma elegida, el Citroën AX, vehículo hatchback 3 puertas pequeño y ligero, utilizado en aplicaciones amateur de automovilismo deportivo.

1.1 Citroën AX



Figura 1-1: Imagen referencial, vehículo Citroën AX GT.

Fuente: <https://www.topgear.com/car-reviews/citroen/ax-gt>

1.1.1 Descripción general Citroën AX:

Vehículo tipo hatchback ligero de 2 o 4 puertas, véase el modelo 2 puertas GT en la figura 1-1. Fabricado entre los años 1986 y 1996 y diseñado para competir contra el VW Golf GTi de la época como un vehículo utilitario espacioso y de poco peso. Pesando 695kg en su versión de 3 puertas básica.

Partícipe de diversos campeonatos de Rally de asfalto y de la conocida “Copa AX” disputada en España e integrada de únicamente vehículos del mismo modelo. Disponible en modelos de 3 y 5 puertas y con motorizaciones desde 1.1 litros hasta 1.4 litros, alimentados por diésel o gasolina; en modelos carburados, con inyección mono y multipunto.

1.1.2 Dimensiones:

- Longitud: 3525 [mm]
- Ancho: 1555 [mm]
- Altura: 1355 [mm]
- Batalla: 2280 [mm]
- Ancho de vía delantero: 1370 [mm]
- Ancho de vía trasero: 1290 [mm]

1.2 Citroën AX GTi:

1.2.1 Descripción general modelo GTi:

En la figura 1-2 se aprecia el modelo GTi, variante mejor equipada del Citroën AX. Integra un motor 1.4 de 8 válvulas con inyección multipunto. Suspensión retocada junto a otros componentes del interior del vehículo. Su objetivo fue entrar en el mercado de los “sport Hatch” como competidor del VW Golf GTi.



Figura 1-2: Citroën AX GTi en estudio

Fuente: propia, 2023.

1.2.2 Especificaciones de la variante Citroën AX GTi en estudio:

El vehículo en estudio ya no posee el sistema de frenos originales.

Se optó por llevar a cabo una reforma parcial, cambiando los frenos delanteros y traseros por el conjunto de frenos delanteros y traseros equipados en el Peugeot 106, vistos en las figuras 1-6 y 1-7 respectivamente, los cuales pertenecen específicamente a la versión S16.

La razón de la modificación del sistema de frenos se debe a que este vehículo, posee instalada la variante del motor equipado en el Peugeot 106 S16, el cual entrega cerca de 110 caballos de fuerza a las ruedas. Por otra parte, se debe a que es usado en eventos de automovilismo deportivo conocidos como “trackday”, en los cuales la modalidad es de time attack, cuyo objetivo es completar una vuelta a un circuito dentro de un autódromo en el menor tiempo posible, donde usualmente, cada piloto tiene derecho a 4 tandas, con un mínimo de 7 vueltas cada una al circuito a lo largo de la jornada.

Posee neumáticos de tipo Semislick Yokohama Advan Neova AD08R, véase en la figura 1-3, neumático diseñado para el uso en circuitos de carreras, elegido para llevar a cabo los ensayos posteriormente expuestos en esta memoria, para propiciar un correcto agarre en el momento de su realización. No posee más modificaciones a la fecha de realización del estudio.



Figura 1-3: Neumático tipo Semislick Yokohama Advan Neova AD08R.

Fuente: Propia, 2023.

En la figura 1-3, se aprecia el característico dibujo del neumático tipo Semislick Yokohama, marca que posee una amplia trayectoria en el desarrollo de neumáticos para aplicaciones de automovilismo deportivo. Su Treadwear es de 150, el cual propicia mayor adherencia al pavimento. Gracias a estas cualidades, entre otras no mencionadas, es que se opta por su uso en los ensayos de distancia de parada expuestos en el capítulo 4.

1.3 Citroën AX GT

1.3.1 Descripción general:

Considerado como la variante intermedia en el modelo AX de la marca Citroën. Carente de las mejoras en suspensión que incluye su sucesor, con un motor 1.4 que equipaba un carburador de doble garganta con menor potencia final, aspectos que lo convierten hoy en día, en el modelo más buscado de la familia AX, para realizar preparaciones desde 0 con reformas para aplicaciones de automovilismo deportivo.



Figura 1-4: Citroën AX utilizado para los ensayos de distancia de frenado.

Fuente: Propia, 2023.

En la figura 1-4, se aprecia el vehículo utilizado para las comparaciones de datos, es una variante AX a la cual, se le instalaron los conjuntos completos de suspensión, frenos e interior del modelo GTi, además del motor 1.6 [L] equipado en el Peugeot 106 S16. No existen diferencias en los bastidores o chasis entre ambos modelos usados en los ensayos mostrados en el capítulo 4, únicamente cambios menores estéticos y afinaciones en sus motorizaciones.

1.4 Peugeot 106 S16

1.4.1 Descripción general:

Sucesor del Citroën AX, el Peugeot 106, véase en la figura 1-5 un modelo S16, es ligeramente más pesado, con similares motorizaciones a los Citroën AX, equipado con electrónica de motor más moderna, trayendo aires novedosos al mercado de la época.

La variante S16 es la mejor equipada. Cuenta con motor 1.6 litros de 16 válvulas modificado, capaz de entregar 122 caballos de fuerza a las ruedas, reforma de suspensión, tren trasero, delantero y frenos respectivamente, sumamente diferente a los modelos más básicos, con el objetivo de competir fuertemente en el mercado de los “hothatch”.

La importancia del modelo S16, recae en sus reformas antes mencionadas, lo convierten en el principal donante para llevar a cabo las mejoras realizadas en los Citroën AX, mejoras mayormente equipadas en ambos modelos en estudio.



Figura 1-5: Imagen referencial, Peugeot 106 S16.

Fuente: Propia, 2023.

1.4.2 Descripción general del sistema de frenos equipado en un Peugeot 106 S16:

El sistema de frenos que integra el modelo S16, es de mayores dimensiones, cambia el sistema de frenos de discos sólidos en el tren delantero y tambores en el tren trasero, a discos ventilados en lugar de discos sólidos, y discos sólidos en lugar de frenos de tambor. Esto a raíz del aumento considerable en su potencia, superior a 35 caballos de fuerza a las ruedas con respecto a los modelos básicos como un AX GT estándar, el cual comparte su sistema de frenos con versiones más básicas del Peugeot 106. Véase la diferencia de medidas específica en la tabla 1.



Figura 1-6: Imagen referencial, rueda delantera perteneciente al vehículo Peugeot 106 S16.

Fuente: Propia, 2023.

En la figura 1-6 se aprecia visualmente el sistema de frenos delanteros de 266 [mm], que integra el Peugeot 106 S16. Para una mejor comprensión de las dimensiones, cabe mencionar que el vehículo está equipado con llantas de 15 pulgadas.



Figura 1-7: Imagen referencial, rueda trasera perteneciente al vehículo Peugeot 106 S16.

Fuente: Propia, 2023.

En la figura 1-7 se aprecia el sistema de frenos de disco traseros de 247 [mm] equipados en el Peugeot 106 S16. Para una mejor comprensión de las dimensiones, se reitera que el vehículo está equipado con llantas de 15 pulgadas.

**CAPITULO 2: EL SISTEMA DE FRENOS EN APLICACIONES
CIVILES**

CAPÍTULO 2: EL SISTEMA DE FRENOS EN APLICACIONES

CIVILES

2.1 ¿Qué es el sistema de frenos?

Es un sistema transformador de energía, ¿a qué energía nos referimos?, energía cinética, la energía de animación de los cuerpos. Se obtiene del producto de la masa por la velocidad al cuadrado, dividido en 2, siendo su unidad de medida el joule; la energía cinética, es transformada en calor y como consecuencia se obtiene la reducción efectiva de la velocidad del vehículo.

La función principal del sistema de frenos al actuar es oponerse al movimiento del vehículo, todos los elementos que lo conforman están diseñados para llevar a cabo en conjunto, la función de reducir o detener toda velocidad generada durante un desplazamiento. Ya sea por el par proveniente del motor del vehículo, o causada por la suma de la fuerza de gravedad en una inclinación, capaz de causar que el vehículo se mueva de su estado de reposo. Sin importar el sentido en que éste se esté desplazando, los frenos deben ser capaces de detener ese movimiento.

2.2 Sistema de frenos en un Automóvil

Existe una amplia diversidad de sistemas de frenos según su aplicación, sin embargo, el enfoque de esta memoria se encuentra principalmente en los frenos hidráulicos.

Los frenos hidráulicos, comúnmente aplicados en automóviles de uso civil; basan su funcionamiento en un conjunto de elementos anclados de forma rígida o flotante al vehículo, que convierten el movimiento en calor vía roce, generando desgaste en sus partes móviles, estas últimas conformando el conjunto de discos o tambores de freno, caliper o cilindro de frenos y pastillas o zapatas, anclados de manera rígida al vehículo.

El objetivo del sistema de frenos en un automóvil es, ser capaz de reducir su velocidad, tener la capacidad de mantener el vehículo detenido de manera estacionaria mediante un freno de estacionamiento, y como ultimo objetivo, conservar sus propiedades durante el mayor tiempo posible, reflejado en el kilometraje del vehículo y en no presentar fallas durante un largo periodo de uso.

2.3 Componentes del sistema de frenos

Los elementos que conforman el sistema de frenos son:

2.3.1 Pedal de freno:

Es el elemento encargado de recibir la fuerza aplicada por el conductor y de transmitirla directamente a través de su conexión con el servofreno, al resto de sistema de frenos.

Este elemento es una palanca que se encuentra conectada mediante un punto de apoyo en el interior del vehículo, al vástago del servo freno y al bulbo o switch de la luz de freno.

Su construcción, la cual se aprecia en la figura 2-8, suele ser mixta, usualmente a partir de materiales como el fierro, aluminio, entre otras aleaciones (varía según aplicación, ya sea civil, deportiva, etc.) lleva consigo una base de materiales como el caucho, aluminio texturizado, entre otras, con la función de proporcionarle al pie del conductor un buen agarre y superficie de contacto con el pedal.



Figura 2-8: Pedal de freno señalado entre el conjunto de pedales del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: Propia, 2023.

2.3.2 Servo freno:

Este elemento visto en la figura 2-9 (3.) viene directamente después del pedal de freno, se vale del vacío que produce el motor para reducir la fuerza necesaria que el conductor debe aplicar sobre el pedal de freno, es decir, es un multiplicador de fuerza.

Se encuentra en el vano motor, instalado en la pared corta fuego atravesando directamente hacia la cabina por el lado del chofer.

En la figura 2-9, se puede distinguir gracias a que su estructura suele parecer un platillo de color negro (3), con un recipiente pequeño semi transparente en frente (1), el cual va adosado a la bomba de frenos (2).

Su estructura interna se compone de estructuras y conjuntos valvulares, los cuales llevan a cabo la función de disminuir el esfuerzo necesario a aplicar por parte del conductor. Se conecta al pedal de freno mediante un vástago que funciona como actuador del conjunto de membranas en su interior.



Figura 2-9: Conjunto de servo freno, bomba de freno y recipiente de líquido de frenos del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: Propia, 2023

2.3.3 Bomba de freno:

Es el componente encargado de enviar el líquido de frenos hacia los caliper de freno, se puede apreciar en la figura 2-10 y 2-11. Su composición interna consta de un conjunto de cámaras y

pistones, encargadas de distribuir líquido de frenos, el cual los extrae de un pequeño recipiente ubicado justo arriba de los conjuntos valvulares, los cuales extraen mediante esa misma conexión, el líquido de frenos que es repartido a través de las salidas de la bomba de frenos al resto del sistema.

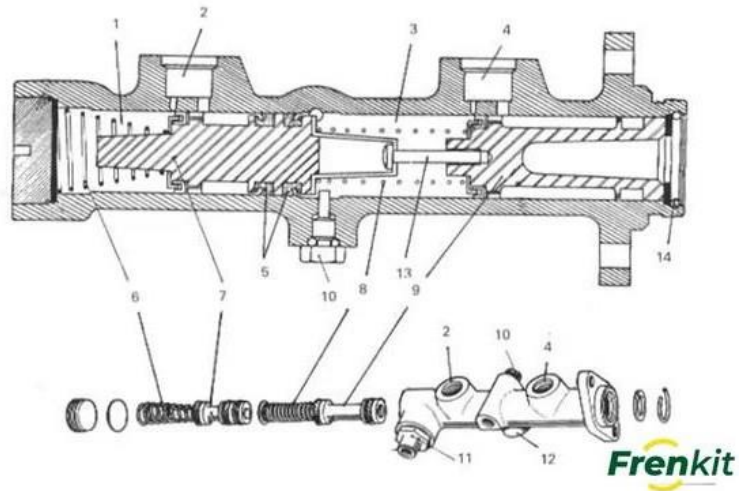


Figura 2-10: bomba de frenos, vista en corte.

Fuente: <https://blog.frenkit.es/es/tipos-de-bomba-de-freno-cilindro-maestro>

En la presente imagen se puede apreciar el conjunto valvular junto a los vástagos actuadores y resortes que lo componen (6,7, 9) respectivamente, se entiende de la figura que el sector marcado con franjas diagonales es cada vástago respectivamente (7, 9), y el sector (1, 3) siendo el pasaje dentro de la estructura en donde el líquido de frenos circula.



Figura 2-11: Bomba de frenos de 4 salidas, perteneciente al vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: propia, 2023.

Su principal función, es distribuir a presión el líquido entre los caliper de las ruedas traseras y delanteras. Esto lo consigue mediante diferencias de presión hidráulica dentro de sus cámaras y el émbolo o cilindro de frenos, los cuales, según su diseño, pueden actuar regulando a su vez el reparto de la fuerza de frenado. Puede tener 2 a 4 salidas, véase el modelo de 4 salidas en la figura 2-11, conectadas directamente hacia los caliper o cilindros de frenos. También puede estar directamente conectada a un módulo ABS, el cual se encarga del reparto de fuerza de frenado, de ser el caso en que el vehículo esté equipado con éste.

Valga recalcar que éste es el caso en vehículos civiles, así como en el que se encuentra en estudio, ya que en otros vehículos o en aplicaciones deportivas profesionales, se emplean componentes adicionales que actúan como reguladores de reparto de frenada.

2.3.4 Cañerías de freno:

Es el conducto por el cual circula el líquido de freno desde la bomba de freno hacia los caliper de freno. Este elemento es construido generalmente en acero. Su fabricación varía según estas sean rígidas o flexibles y puede ser también de construcción trenzada y recubierta, entre otras formas.

2.3.5 Caliper de frenos:

Es la estructura que participa en la parte final del proceso hidráulico en el frenado. Es un cuerpo generalmente de aluminio o fierro, se puede ver en la figura 2-12, que suele ir montado sobre dos pasadores flotantes, adosados a una estructura montada de manera rígida al muñón del vehículo llamado “porta caliper”, véase en la figura 2-14, que recibe el líquido de frenos proveniente de las cañerías a través de una entrada en su parte posterior, y lo conduce hacia un émbolo o pistón montado en el interior de su misma estructura.

En la figura 2-13, se observa el caliper montado sobre un pasador flotante, desplazado hacia arriba para poder hacer mantenimiento a las pastillas de frenos. Queda expuesto el émbolo o pistón, el cual recibe la presión del líquido hidráulico desde el interior del caliper. A su vez, se aprecia claramente el punto donde se conecta el flexible de frenos en su parte superior.

Al recibir presión hidráulica, el líquido en el interior del caliper de freno, desplaza al émbolo o pistón, el cual ejerce presión de manera pareja sobre las pastillas de frenos, gracias a que el mismo caliper, al poseer la capacidad de desplazarse mediante sus pasadores flotantes, ocasiona un reparto de la presión ejercida por el émbolo, el cual es contenido por un retén de goma. Posterior a esto, las pastillas comprimen el disco de freno, generando roce y la detención del vehículo como consecuencia.



Figura 2-14: Porta caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista posterior.

Fuente: Propia, 2023.

En la figura 2-14, se distingue la estructura cuya función en el caso del vehículo en estudio, es la de fijar el caliper al muñón de este, esto mediante dos pernos de grado 9. También se puede apreciar la forma en que contiene las pastillas de freno alrededor del disco de freno.



Figura 2-15: Porta caliper de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio, vista frontal.

Fuente: Propia, 2023.

Por otra parte, en la figura 2-15 se observa otra perspectiva del porta caliper, donde se observa el calce que posee en su estructura para integrar la pastilla de frenos, la cual se ve ya instalada en su parte posterior en la figura 2-14.



Figura 2-16: Conjunto de frenos trasero del vehiculo citroen AX GTi en estudio, vista posterior.

Fuente: Propia, 2023.



Figura 2-17: Conjunto de frenos trasero del vehiculo citroen AX GTi en estudio, vista frontal.

Fuente: Propia, 2023.

El conjunto de frenos visto en las figuras 2-16 y 2-17, corresponde a los frenos traseros de disco de 247 [mm], originalmente del Peugeot 106 S16, instalados en modelo GTi en estudio.

En la Figura 2-16, el caliper se encuentra fijado a la maza del vehículo a través de dos pernos flotantes; en lugar de poseer “porta caliper”, el sistema consta de un “porta pastillas”, el cual permite sacar la estructura incluyendo las pastillas de freno, sin remover el caliper o el disco de frenos llegado el momento de llevar a cabo la mantención del sistema de frenos.

2.3.6 Pastillas de freno:

Es el elemento cuya función se ejerce mediante el roce, transformando la energía cinética del disco de freno a calor.

Su construcción, véase en la figura 2-18, consta de una placa metálica a la cual se le integra el material diseñado para el roce contra el disco, dicha placa recibe directamente la presión del pistón al interior del caliper. El material de las pastillas de freno suele ser de un componente metálico de: latón, bronce, cobre, también incluye grafito, antracita o sulfuro, entre otros materiales. Poseen un coeficiente de fricción, el cual actúa como indicador de la calidad del frenado, sus valores son adimensionales y van desde el número 0.2 hasta el 0.5.

Dichos materiales, son comprimidos en una sola unidad parcialmente rectangular. Este material también va graduado en dureza, lo cual se traduce en el nivel de desgaste que genera sobre el disco y en una mayor o menor eficacia de frenado.



Figura 2-18: Pastilla de freno delantera del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: Propia, 2023.

La importancia del material de la pastilla de freno recae en que, si una pastilla de frenos genera temperaturas muy altas de frenado, puede afectar a las propiedades de sí misma, causando como consecuencia cristalización prematura, reduciendo la adherencia de la pastilla hacia el disco o viceversa, reduciendo drásticamente la eficacia del frenado.

Una pastilla no puede presentar una pérdida de sus cualidades de frenado, sus propiedades deben perdurar en el transcurso de su vida útil, esto ya que, este componente, es el principal encargado de propiciar un buen frenado en el vehículo. En caso de fallar o de generar una pérdida de sus propiedades, se genera un aumento inmediato de la distancia de parada del vehículo, fenómeno también conocido como Brake fade, ante lo cual, se debe efectuar de inmediato un cambio o mantenimiento en el sistema de frenos.

Una pastilla de frenos al perder sus propiedades, puede generar un alza grande en la temperatura de los frenos bajo una carga de frenado constante, esto traerá consigo la pérdida de las propiedades en el líquido de frenos, siendo uno de los principales causantes del alza de temperatura, el que la pastilla de frenos se haya cristalizado.

El fenómeno de cristalización se aprecia cuando el material de la pastilla de frenos pierde porosidad en su superficie. Esto debido a que, el material particulado que desprende se vuelve a unir a la superficie de la pastilla que se encuentra en contacto con el disco, así disminuyendo la capacidad de fricción de la pastilla. Debido a que la pastilla sostendrá un roce por mayor tiempo con tal de propiciar un frenado adecuado, la cantidad de calor generado será mayor.

Por otra parte, existen compuestos diseñados específicamente para aplicaciones deportivas. Sus propiedades trabajan tal que, ante el aumento de temperatura, mejoran su eficacia de frenado hasta cierto punto, con el fin de evitar el Brake Fade. Estos componentes trabajan fuera de las normas de fabricación para pastillas de freno convencionales, no poseen las falencias que presenta un sistema de frenos de uso civil en caso de ser llevado a un circuito de carreras. Sin embargo, poseen una gran falencia, la cual es su desgaste prematuro, ruidos molestos y sensibilidad muy alta en el sistema de frenos, eliminando por completo el confort y la rentabilidad en su uso dentro de aplicaciones civiles, a cambio de mejor respuesta en los frenos y menor distancia de parada.

2.3.7 Disco de freno:

Es la estructura que transmite el movimiento del vehículo directamente hacia las pastillas de freno, se encuentran adosados a la maza del vehículo, la cual también en el caso de las ruedas motrices se conecta a los ejes palier, retransmitiendo adicionalmente, el par del motor hacia las ruedas.



Figura 2-19: Disco de frenos delantero del vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: Propia, 2023.

Los discos de freno son fabricados comúnmente en hierro, aleaciones con cerámico o acero con tratamientos térmicos. Puede ser sólido, ranurado o ventilado según su aplicación. Refiérase a una estructura solida vista en la Figura 2-19, con hendiduras a lo largo de su superficie o con una división al medio de la estructura, como si este fuera 2 discos solidos unidos por múltiples paredes en su interior, refiérase específicamente a un disco de tipo ventilado.



Figura 2-20: Sección interior del disco de frenos ventilado delantero de 266 [mm], instalado en el vehículo Citroën AX GTi en estudio.

Fuente: Propia, 2023.

Su principal función, es ser la superficie contra la cual las pastillas de freno generan roce, su estructura está diseñada para oponerse a la fuerza de presión que el pistón al interior del caliper, ejerce sobre las pastillas.

Su función en el proceso de frenado le exige a este componente, tener la capacidad de disipar el calor que se desprende en el frenado. Debido a esto es que existen variantes ventiladas y de diversos materiales. A su vez, en caso de ser parte de las ruedas motrices del vehículo, se transforma en el elemento conductor del par generado por el motor, retransmitido desde la caja de cambios del vehículo, conectada a las mazas mediante los ejes palier. Esto genera como consecuencia la necesidad de fabricar el disco de frenos en un material más resistente o en mayores dimensiones.

La manera en que los discos de freno disipan la temperatura es sumamente variada, puede ser gracias a una superficie amplia, mediante canales de aire, véase en la figura 2-20, en el centro de su estructura diseñados para la ventilación del disco, o dispersándose a través de perforaciones conectadas a las ventilaciones del disco maximizando el flujo de aire de enfriamiento del mismo, véase en la figura 2-19.

2.3.8 Discos de frenos de competición:

La otra opción es a través del uso de otros materiales como hierros de aleaciones de mayor calidad, a razón de un menor grosor de material, ocasionando con ello, una menor capacidad de retención de temperatura, usando compuestos carbocerámicos cuyas propiedades han demostrado tener mayor eficiencia de enfriamiento en aplicaciones deportivas.

Se aprecia en la figura 2-21, el disco de frenos perteneciente a un Porsche. Construido en un compuesto carbocerámico, de grandes dimensiones, con múltiples perforaciones y del tipo ventilado equipado en un modelo 911 GT3 RS. Vehículo enfocado al uso en automovilismo deportivo y capaz de alcanzar velocidades superiores a los 320 Km/h.



Figura 2-21: Discos de freno delanteros carbocerámicos equipados en un Porsche 911 GT3 RS.

Fuente: <https://noticias.coches.com/noticias-motor/porsche-no-todo-ventajas-en-frenos-carboceramicos/333482>

2.3.9 Freno de estacionamiento:

Es una función integrada en el sistema de frenos. Se ejecuta a través de múltiples métodos mecánicos o automatizados. El más común es mediante la palanca de freno de mano, estructura ubicada atrás de la palanca de cambios y adosada a un conjunto de piolas de acero, cuya función es generar el actuar de los frenos traseros en su máxima capacidad, esto al ser accionadas llegado el momento de tirar de la palanca. Su actuar trabaja directamente sobre las zapatas o bien sobre el caliper de frenos de ser un sistema de frenos de discos traseros. En caso de ser un sistema de frenos mixto, disco de frenos/tambor de frenos interno, las zapatas solo existen con la función de operar a modo de freno de estacionamiento.

2.4 Funcionamiento del sistema de frenos

El orden de acción del sistema de frenos, desde la primera reacción del conductor hasta la detención del vehículo, funciona en el siguiente orden:

1. Se ejerce presión sobre el pedal de freno.
2. El pedal de freno actúa directamente sobre el servo freno, ya que, se encuentran unidos mediante un vástago.
3. El servofreno, actúa sobre la bomba de frenos la cual desplaza el líquido de frenos.
4. El líquido de frenos recorre las cañerías y mangueras, llegando a los caliper de frenos.
5. La presión del líquido de frenos desplaza los pistones o émbolos.
6. Los émbolos dentro de los caliper o vástagos en los cilindros de frenos, comprimen las pastillas y/o zapatas respectivamente.
7. Discos y/o tambores, rozan con las pastillas de freno o zapatas generando finalmente la reducción de la velocidad o detención del vehículo.
8. Se tira la palanca de freno de mano.
9. Al tirar de la palanca se tensan las piolas de freno de estacionamiento.
10. Las piolas desplazan al émbolo dentro del caliper o a las zapatas mediante un mecanismo, activando el freno de estacionamiento.
11. El vehículo se encuentra completamente detenido y con sus ruedas traseras completamente frenadas.

El proceso anteriormente mencionado, da como resultado la detención progresiva y absoluta del vehículo en un periodo corto o largo de tiempo y de manera eficaz, respondiendo correctamente ante cualquier situación adversa que requiera de una maniobra de frenado y con la velocidad de reacción que el conductor estime necesaria.

Un frenado eficaz se realiza en el menor tiempo y distancia posible. Como sobrante de este proceso, se obtiene calor y polvillo ferroso, esto como resultado de la disipación energética.

En el momento en que un vehículo ejecuta una maniobra de frenado, se genera la confrontación de 2 fuerzas opositoras. Fuerza cinética contra fricción.

La fuerza o energía cinética, es la que acarrear los discos de frenos. Se genera por el desplazamiento del vehículo o por el par que entrega el motor hacia las ruedas, generando el movimiento rotacional de las mismas. Esta fuerza es directamente contrarrestada por la superficie de las pastillas de freno, cuya principal propiedad es la capacidad de generar un roce capaz de detener las velocidades de desplazamiento que puede generar el vehículo. Es decir, que la tracción de las pastillas, es superior al resultado de la masa del vehículo una vez esta se multiplique por la velocidad que alcance, esto en un tiempo ideal y seguro estudiado por cada fabricante.

Habiendo mencionado lo anterior, se comprende la distancia ideal de parada de manera matemática tal que:

Distancia ideal de parada es igual a la capacidad de un vehículo para detenerse en su velocidad actual al cuadrado, dividido por el doble de la aceleración de gravedad, por ejemplo, un caso correcto sería si un vehículo pudiera detenerse desde 40km/h hasta 0 km/h en un mínimo de 6.17 metros, esto definido por la fórmula matemática antes mencionada.

2.5 Fuerzas involucradas en el movimiento y frenado del vehículo:

Dentro del frenado, existen fuerzas que interactúan entre sí, formando una perfecta armonía entre desgaste de componentes y la detención de un vehículo.

El principio del frenado se basa en la transformación de energía cinética en calor, sin embargo, existen más fuerzas, propiedades y conceptos involucradas en el proceso de frenado, las cuales son:

- -Normal: es la fuerza que se opone a la fuerza de gravedad ejercida sobre un cuerpo.
- -Gravedad: es aquella que ejerce el mismo planeta sobre los cuerpos, atrae cualquier cuerpo hacia el suelo, cuyo valor es $9.8 [m/s^2]$
- -Roce: es la fuerza necesaria para mover un cuerpo, dividido por el peso del mismo. Su simbología es μ , unidad adimensional, cuyos valores fluctúan de 0 a 1.
- -Momentum: es el resultado de la masa multiplicada por la velocidad. A mayor velocidad de desplazamiento, mayor momentum tendrá el cuerpo, y mayor será la dificultad para detenerlo, su unidad de medida es el $[kg \times \frac{m}{s}]$ y se calcula de forma que $[\rho = m \times v]$
- -Fuerza rotacional: es la magnitud que representa la capacidad de un torque para producir una rotación en el cuerpo en que se aplique; es el tipo de fuerza que adquieren las ruedas de un vehículo, entre otros. Se mide en $[kg \times m^2]$ y se calcula de forma que $[KE = \frac{1}{2} \times I \times \omega^2]$, donde la fuerza rotacional [KE] es el producto de la mitad de la inercia rotacional [I] multiplicado por su velocidad angular $[\omega]$.
- -Energía cinética: es la energía producto de todo esfuerzo que permita a un cuerpo pasar de un estado de reposo a una velocidad específica, es decir, la mitad de la masa del objeto, multiplicada por su velocidad al cuadrado $[KE = \frac{1}{2} m \times v^2]$, se mide en Joules.
- -Calor: es la energía producida por el movimiento de las partículas, dependiendo de su velocidad, mayor será el calor producido. Por ende, su fórmula es el resultante de la masa del objeto multiplicado por el calor específico a su vez multiplicado por el delta de temperatura $[Q = m \times c \Delta t]$

- -Presión: es la magnitud que mide la proyección de una fuerza perpendicular a un área. Su unidad de medida son los pascales y se calcula de forma que $[P = \frac{F}{A}]$ donde [P] es presión igual a la fuerza [F] dividido por el área [A].
- -Tracción: es la capacidad combinada del peso, suspensión, aerodinámica y principalmente los neumáticos del vehículo para adherir al mismo al pavimento, manteniendo un contacto constante del vehículo con el mismo. A mayor tracción, mayor eficacia de aceleración y frenado tendrá.
- -Adherencia: es una cualidad de un neumático que representa su capacidad de mantener un contacto constante al pavimento, mientras mejor sea la adherencia de un neumático, mejor será la tracción del vehículo.

2.6 Frenado en aplicaciones deportivas

Existe una gran diferencia en el tipo de uso que se le da a los frenos en el automovilismo deportivo, en comparación al uso civil.

En el circuito de carreras, se busca sostener de manera constante la velocidad más alta posible, buscando siempre el menor tiempo posible. En el caso específico del vehículo en estudio, ese tiempo se cuenta cada vez que el vehículo da una vuelta completa al circuito de carreras.

Producto del uso antes mencionado del vehículo, es que las maniobras de frenado siempre se ejecutan con agresividad y a velocidades al menos superiores a los 80 [km/h] en el caso del autódromo de Quilpué.

En la figura 2-22, se observa un Mitsubishi Lancer Evolution X, lleva a cabo una maniobra de frenado tan brusca, que los frenos tomaron una coloración rojiza producto del calor generado por el excesivo roce. La maniobra transcurre en una competencia de Rally sobre asfalto



Figura 2-22: Mitsubishi Lancer Evolution X llevando a cabo una maniobra de frenado en una competencia de Rally sobre asfalto.

Fuente: https://www.google.com/search?q=discos+de+freno+al+rojo+vivo&sca_esv=584400697&rlz=1C1VDKB_esCL1054CL1054&tbm=isch&sxsr=AM9HkKnIly4baF_Deu9uYPuvtvIgOe_dsg:1700607214383&source=lnms&sa=X&sqi=2&ved=2ahUKEwjqs6nHI9aCAxUiErkGHZS_SAl8Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1310&bih=698&dpr=1.25#imgrc=chJ7b_FNMcnI-M&imgdii=sAkzuBYqQxTXjM

2.7 Ejemplificación de una maniobra de frenado en automovilismo deportivo

Habiendo comprendido las fuerzas involucradas en el frenado, se expone a continuación, una situación en donde se llevó a cabo, una maniobra de frenado en aplicaciones deportivas durante un evento trackday. La maniobra de frenado se llevó a cabo en el autódromo de Quilpué, en la popularmente conocida “curva del estadio”, la cual viene seguido de la recta más larga dentro del circuito en donde la velocidad máxima suele ser de un promedio de 150 [km/h] como mínimo para el caso del vehículo en estudio.

La ejecución de la maniobra de frenado fue la siguiente:



Figura 2-23: Vista general de la llamada “curva del estadio” en el autódromo de Quilpué.

Fuente: Propia, tomada desde el simulador Assetto Corsa, 2023.

La figura 2-23 a través de una simulación del vehículo en estudio, representa límite entre el final de la recta y el inicio de la curva dentro del autódromo de Quilpué en el simulador de automovilismo deportivo Assetto Corsa.



Figura 2-24: Vista frontal del vehículo Citroën AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado en el primer tramo de la “curva del estadio”.

Fuente: Fotografía tomada por Marcelo Vidal. 5 de noviembre de 2023.

En la figura 2-24 se capta el momento exacto en que el alumno Alonso Escala ejerce un frenado brusco y tardío, esto para ingresar a la “curva del estadio” del autodromo de Quilpué a máxima velocidad, a la vez que se busca seguir la trazada ideal dentro de la curva, en donde el vehículo encuentra la mayor adherencia.



Figura 2-25: Vista frontal del vehículo Citroen AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado dentro de la parte interior de la “curva del estadio”.

Fuente: Fotografía tomada por Marcelo Vidal. 5 de noviembre de 2023.

Posterior al frenado antes mencionado, se observa en la figura 2-25, como el piloto procede a realizar un viraje con fuerza hacia la parte interior de la curva, se puede apreciar levemente la inclinación dentro del interior de la misma curva, inclinación que determina la ruta o línea ideal de carrera. La maniobra en la imagen se está llevando a cabo a cerca de 100 [km/h]



Figura 2-26: Vista posterior del vehículo Citroën AX GTi en estudio participando en el pasado evento trackday, posicionado cerca del termino de la “curva del estadio”

Fuente: Fotografía tomada por Marcelo Vidal. 5 de noviembre de 2023.

En la figura 2-26, se observa el termino de la maniobra, el vehículo se acerca al final de la curva a una velocidad superior a los 100 [km/h], llevando el vehículo al límite de la perdida del control.

Se logra comprender que el vehiculo siguió correctamente el interior de la curva, esto producto de la conducción a la máxima velocidad que se consigue gracias a la adherencia que los neumaticos de tipo semislick proporcionan, evento perceptible a través de la inclinación visible del Citroen AX hacia el exterior de la curva, que da a entender como el vehiculo tiende hacia el exterior de la curvo producto de la velocidad, siendo arrastrado hacia el interior de la misma gracias a la correcta adherencia de los neumaticos Yokohama.



Figura 2-27: Representación del sentido vectorial del concepto de momentum, generado por el vehículo Citroën AX GTi.

Fuente: Fotografía tomada por Marcelo Vidal. 5 de noviembre de 2023.

El evento mostrado en las imágenes anteriores muestra como el vehículo Citroën AX, se desplaza por el circuito de carreras a una velocidad promedio de 95 [km/h], dicho desplazamiento, representado en la figura 2-27, genera un momentum $[\rho]$, el cual, causa la inminente necesidad de frenar previo a la curva que se aproxima en la figura 2-28, el conductor se dispone a ejecutar la maniobra de frenado correspondiente. A raíz de esto sucede lo siguiente:

El conductor llevando el vehículo al límite entre el final de la recta y el inicio de la “curva del estadio”, punto visto en la figura 2-28, inicia un frenado brusco y tardío. Dicho frenado se ejecuta al máximo de fuerza aplicada sobre el pedal de freno. Gracias al agarre y tracción que proporcionan los neumáticos del tipo Semislick en el vehículo, el frenado es efectivo y se consigue una reducción de la velocidad de 155 [km/h] a 105 [km/h] en un rango inferior a 6 metros.



Figura 2-28: Representación en un simulador de conducción, del límite entre el final de la recta y el inicio de la “curva del estadio” en el autódromo de Quilpué.

Fuente: Propia, tomada desde el simulador Assetto Corsa, 2023.

Se toma en cuenta que, en este caso, el vehículo no pierde tracción, ya que el piloto es experimentado en el autódromo de Quilpué. Además, el peso del vehículo le permite mantener buen contacto con el pavimento, sumado a esto, el roce de la superficie del pavimento, ayuda al neumático tipo Semislick a no resbalar, aumentando aún más la tracción.

El vehículo llega a una reducción muy brusca de su velocidad inicial en el caso antes mencionado, el sistema de frenos adquiere una temperatura superior a la óptima, y el calor acumulado se disipa en el momento que el vehículo vuelve a acelerar en la siguiente recta del circuito, gracias a que el disco de frenos delantero, el cual sufre un mayor aumento en su temperatura, es del tipo ventilado.

**CAPITULO 3: SISTEMAS DE FRENOS EQUIPADOS EN LOS
CITROENAX EN ESTUDIO**

CAPITULO 3: SISTEMAS DE FRENOS EQUIPADOS EN LOS CITROEN AX EN ESTUDIO

3.1 Frenos delanteros de 266 [mm]

Como se menciona en el punto 1.4.2, los frenos de 266 [mm], véase en la imagen 2-12, provienen del Peugeot 106 S16. Estos frenos se equiparon en el Citroën AX GTi en estudio. La razón de dicha modificación fue la siguiente:

El Citroën AX GTi, viene equipado con frenos de 247 [mm] solidos, véase en la imagen 2-16 y 2-17, equipados con calipers BOSCH de un solo émbolo, los cuales fueron diseñados para aplicaciones civiles de la época, con sus respectivos estándares en el año 1992. Sin embargo, eso no quiere decir que fueran resistentes al usarse en competencia, tampoco estaba contemplado un uso bajo nuevos parámetros de potencia, ya que el modificar los parámetros de potencia de estos vehículos con enfoque en el automovilismo deportivo, es algo relativamente nuevo de la década anterior.

Teniendo esto en cuenta, se puede comprender que la reforma de frenos de 247 [mm] a 266 [mm] en la parte delantera, fue necesaria debido a que el uso deportivo del vehículo, sobrepaso en gran medida la capacidad de los frenos. Esto fue comprobado de manera practica por el dueño anterior, mas no se llevo a cabo una obtención de datos, principal razón de la realización de los ensayos llevados a cabo posteriormente en el capítulo 4.

El GTi en estudio actualmente cuenta con frenos de disco deportivos de 266 [mm], ventilados, perforados y ranurados, diseñados para uso casual en pista.

Al tener frenos más grandes, se compensa por el aumento de potencia, aumento que es de más de 35 caballos de fuerza con respecto a los 80 que originalmente este modelo lograba llevar desde el motor al suelo. Esto tomando en consideración que el Citroën AX GTi y GT en estudio poseen la motorización y peso similar del Peugeot 106 S16, modelo del cual además, se extrae el sistema de frenos utilizado en el modelo GTi en estudio.

3.2 Frenos traseros de tambor

Si bien los frenos traseros suelen ser solo el 30% de la frenada como máximo, no son menos fundamentales por ello.

Se puede apreciar en un Citroën AX por lo general, un reparto de pesos cercano al 60% adelante y 40% detrás en un modelo estándar.

Debido a esto, es que el modelo GTi de fabrica viene equipado con frenos de tambor en su parte posterior. Para motivos prácticos prueban ser sistema sumamente capaz, a su vez, otorgan un freno de estacionamiento que, con buena mantención, se desempeña de buena manera bajo el estándar general del mercado automovilístico.

Sin embargo, al poseer más caballos de fuerza y ser utilizado en aplicaciones de automovilismo deportivo, es que este sistema de buena eficacia queda obsoleto en comparación al sistema de frenos de disco de 247 [mm] instalados en el modelo GTi en estudio.

3.3 Frenos de disco de 247 [mm]

Los frenos de disco de 247 [mm], pueden ser encontrados en la parte delantera de un Citroën AX GTi, así como en la parte posterior del Peugeot 106 S16, véase en la imagen 2-16 y 2-17, únicamente cambiando el caliper, al cual se le añade el mecanismo para el accionamiento del freno de estacionamiento en el caso del S16.

Traen consigo el beneficio de proporcionar una mayor fuerza de frenado, esto ya que provienen de un modelo deportivo de la misma familia que el vehículo en estudio, y que posee más de 120 caballos de fuerza de fábrica. Se da a entender con esto, que la diferencia de diseño y aplicación en estos frenos es acorde a un uso mucho más exigente, es decir, están diseñados para llevar a cabo un frenado a mayor carga y para frenar desde velocidades mucho más altas de las que se esperaría pudiera alcanzar un Citroën AX.

CAPITULO 4: ENSAYO COMPARATIVO DE DISTANCIAS DE
FRENADO

CAPITULO 4: ENSAYO COMPARATIVO DE DISTANCIAS DE FRENADO

4.1 Consideraciones generales

Las razones de la modificación del sistema de frenos, que se llevó a cabo en el Citroën AX, se deben a lo siguiente:

-El enfoque principal del vehículo en estudio es su uso en circuitos de carreras. Este Citroën AX GTi en cuestión, se usa para competir en pruebas tipo Time Attack, donde el objetivo, es hacer el menor tiempo de vuelta posible. Se somete a frenadas muy intensas y tardías, exigiendo a los frenos la capacidad de reducir la velocidad de manera brusca y causando mucho desgaste y temperatura en los discos y pastillas. Por ende, justificando en primera instancia la modificación llevada a cabo en sus frenos, en lo que a obtener bajas de temperatura tras un frenado concierne.

-El uso de los frenos en este caso, es detener al vehículo en función de su peso y velocidades altas. Se busca conseguir una distancia de frenado más corta y una respuesta más rápida, es decir, el objetivo es aumentar la agilidad y resistencia del sistema de frenos. Dicho factor se relaciona con las dimensiones de las pastillas, ya que, a mayor superficie de roce entre la pastilla y el disco, más eficaz será dicha fricción en detener al vehículo a razón de una menor fuerza aplicada sobre el pedal de freno.

-En un caso ideal, tener frenos más grandes trae consigo una baja de temperatura en los discos. Esto gracias a que, al ser el disco de mayores dimensiones, el calor se reparte en una superficie mayor, concentrando alzas de temperaturas menores a comparación de sistemas de frenos, donde

la dimensión del disco de frenos fuese menor. Este último caso trae consigo un punto mucho más focalizado de acumulación de temperatura. Además de esto, se debe tomar en cuenta que el Citroën AX originalmente viene equipado con discos solidos delante y tambores en su parte posterior, ante lo cual, la mejora hacia discos ventilados delante y discos solidos en la parte posterior genera una baja en la temperatura final posterior al frenado.

-En aplicaciones deportivas, el sistema de frenos tiene como efecto secundario la fatiga extrema y perdida de fuerza de frenado, las pastillas de freno tienden a la cristalización debido al exceso de temperatura generando Brake fade, el líquido de frenos puede también a su vez llegar a perder sus propiedades. Por lo cual se espera que el resultado de la mejora no solo será una mayor fuerza de frenado o menor distancia de parada, sino que una mayor durabilidad de los frenos y mejor rendimiento general de sus componentes como lo son discos y pastillas. Esto gracias a que, aumentando las dimensiones, se produce un mejor reparto de la fuerza de frenado y con ello un menor desgaste y fatiga en los materiales.

El objetivo principal de la reforma de frenos es obtener una menor distancia de frenado, proporcional a una temperatura igual o inferior a la de los frenos originales, si se cumple esta condición, la reforma habrá probado ser eficaz en aplicaciones de automovilismo deportivo.

4.2 Factores considerados en la realizacion del estudio comparativo

Se opta por llevar el estudio a cabo en una calle publica con muy poco transito vehicular, a las 15:00 y utilizando el mismo conjunto de neumaticos y llantas para ambos autos, vease en la figura 4-29. Considerando que se debian cambiar el conjunto de llantas de un auto a otro, trayendo esto consigo, una pérdida de tiempo, se prefiere dicha hora de inicio para una menor diferencia de temperatura en el pavimento.



Figura 4-29: Neumatico Yokohama Advan Neova AD08R montado sobre la llanta Enkei RS+M.

Fuente: Propia, 2023.

Por la longitud de la calle, la velocidad maxima previo a la maniobra de frenado definida, fue de 40 [km/h]. Debido a que el pavimento elegido esta recientemente inaugurado, las condiciones de adherencia para los neumaticos semislick son favorables. Se utilizan 10 [km/h] de margen de error antes de superar el limite de velocidad en la via publica, para asi poder realizar un frenado mucho mas controlada a maxima capacidad.

El uso de un mismo juego de llantas y neumaticos, vistos en la figura 4-29, permite hacer despreciables las difrencias de rugosidad del pavimento y coeficiente de agarre del neumatico, a su vez, elimina diferencias entre la resistencia al rodaje de ambos vehiculos, ya que ambos modelos pesan lo mismo.

4.3 Especificaciones técnicas de cada conjunto de frenos

Frenos y características	Citroën AX GTi (Swap de frenos Peugeot 206 S16)	Citroën AX GT (frenos originales de Citroën AX GTi)
Caliper delantero	De un solo émbolo marca BOSCH	De un solo émbolo sin marca
Caliper trasero	De un solo émbolo marca BOSCH	Posee un cilindro de doble émbolo, sistema de frenos de balata simplex
Pastillas	GTX de compuesto de calle Coef. De roce: 0.3	Delanteras GTX compuesto de calle y zapatas traseras mapco de 164mm Coef. De roce: 0.3
Discos	Delanteros de 266mm y 22mm de espesor, ranurados, perforados y ventilados. Discos traseros de 247mm y 8mm de espesor sólidos	Delanteros de 247mm y 8mm espesor, solidos. Tambor trasero de 165 mm de diámetro
Líquido de frenos	DOT 3 LIQUIMOLY	DOT 3 LIQUIMOLY
ABS	No posee ABS	No posee ABS

Tabla 1: Diferencia entre sistema de frenos original, equipado en un vehículo Citroën AX GTi, y el sistema de frenos original, equipado en un Peugeot 106 S16.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.



Figura 4-30: Diferencia visual entre dimensiones de frenos GTi originales con respecto a frenos de S16, ambos autos equipados con llantas aro 15.

Fuente: Propia, 2023



Figura 4-31: Diferencia visual, AX GTi con frenos de disco atrás tipo S16 vs frenos de tambor originales GTi en la parte posterior del modelo GT.

Fuente: Propia, 2023.

En las figuras 4-30 y 4-31 se aprecia la diferencia visual entre el conjunto de frenos provenientes del Peugeot S16 vs los frenos originalmente equipados en el Citroën AX GTi, ambos conjuntos se muestran mientras que los vehículos están equipados con llantas de 14”.

4.4 Consideraciones previas al procedimiento comparativo:

Para llevar a cabo una comparación efectiva de las diferencias en el frenado. Se lleva a cabo una comprobación de la resistencia de los neumáticos de cada vehículo, es decir, cuanto sería el beneficio o la resta de velocidad que únicamente el neumático genera sobre cada Citroën.

Dicha comprobación se realiza llevando el vehículo a 10 [km/h], por consiguiente, se deja rodar en neutro desde un punto definido hasta su detención total. Obteniendo en ambos AX una distancia de parada de aproximadamente 18 metros.

Se considera el par de frenado de cada vehículo, que brevemente explicado, es la fórmula matemática que representa la fuerza de un sistema de frenos para detener un vehículo.

4.5 Procedimiento comparativo:

El procedimiento comparativo, busca exponer la mejora que producen las dimensiones del conjunto de frenos de Peugeot 106 S16 montados sobre un Citroën AX vs el sistema de frenos original, y la real efectividad y necesidad de llevar a cabo una mejora al sistema de frenos, a través de la diferencia en los resultados durante la experimentación.

(aclaración, ambos vehículos recibieron un servicio previo a sus frenos en un taller de confianza y dependencias de la universidad)

El procedimiento comparativo de fuerzas de frenado toma en cuenta los siguientes parámetros:

- Distancia final de frenado: esta capacidad se mide de forma que, ambos vehículos aceleran hasta los 40km/h, posteriormente cada vehículo cruza el mismo punto definido, frenando desembragado, este frenado en cuestión se lleva a cabo con la máxima fuerza posible aplicada sobre el pedal de freno.
- Temperatura de frenos: posterior a cada intento de frenada, al instante de alcanzar 0km/h, se hará un chequeo con pistola infrarroja de la T° de los discos de freno de cada vehículo.

4.6 Cálculo de fuerza de frenado

Previo al cálculo del par de frenado, cuyo resultado demuestra las diferencias entre las capacidades de los frenos entre los modelos GT y GTi modificado, es preciso llevar a cabo una serie de cálculos para determinar la fuerza de frenado del sistema de frenos y a su vez la fuerza que posee cada caliper o cilindro de cada modelo respectivamente.

El sistema de frenos de ambos modelos Citroën AX es tal que:

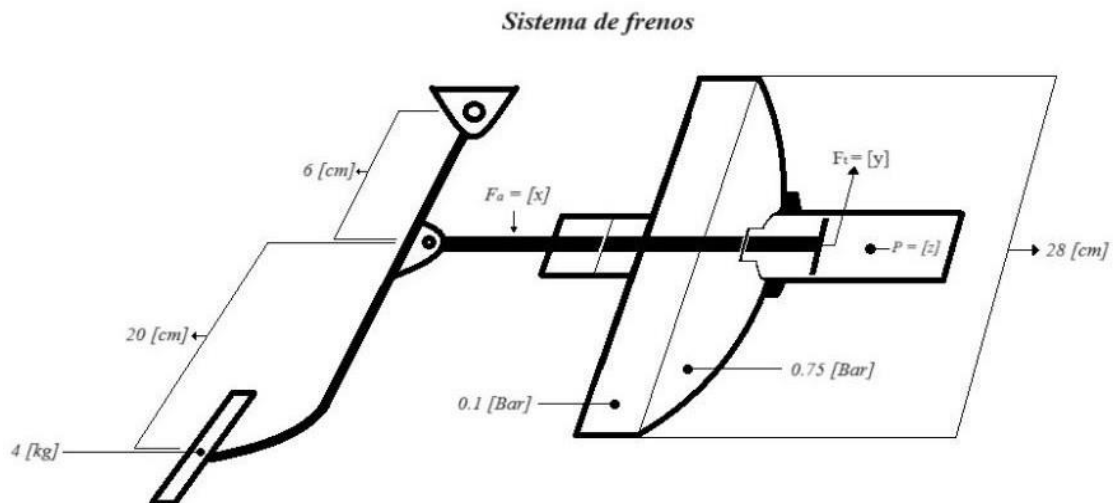


Gráfico 1: Representación del sistema de frenos para el modelo GTi y GT en estudio.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.

Se consideran los factores del gráfico 1, para llevar a cabo los cálculos con relación al torque aplicado por el conductor sobre el sistema de frenos. Tomando como referencia una fuerza inicial de $4 [kg]$ la cual como consecuencia genera la fuerza total aplicada $[F_t]$, que desplaza el líquido de frenos al interior de la bomba de frenos.

Como consecuencia se obtiene el valor de la presión ejercida por la bomba de frenos [P], el cual será usado posteriormente para realizar el calculo de la fuerza total que aplica cada caliper o embolo de frenos según cada vehículo.

Con lo antes mencionado el calculo de la fuerza total aplicada sobre el embolo en el interior de la bomba de frenos es tal que:

$$T = F * d$$

$$T = 4 [kg] * 0.26 [m]$$

$$T = 1.04 [kg/m]$$

Una vez determinado el torque ejercido por el conductor, se procede a calcular la fuerza ejercida sobre el vástago que conecta al servofreno, visto en el grafico 1.

$$F = T / d$$

$$F = 1.04 [kg/m] / 0.6 [m]$$

$$F = 1.73 [kg]$$

Ya que se conoce el valor de la fuerza aplicada sobre el vástago del servo freno, es posible llevar a cabo el cálculo de la magnificación que realiza el servo freno de dicha fuerza, esto mediante la utilización de los valores de vacío al interior del mismo.

Se toma en cuenta que el valor de fuerza es la sumatoria del valor de la multiplicación entre la presión en el interior del servo freno y el área del mismo, junto con la fuerza aplicada por el conductor.

El área del interior del servo freno, se calcula tal que.

$$A = \pi d^2 / 4$$

$$A = (\pi * 748) / 4$$

$$A = 615 [cm^2]$$

La variación de presión en el interior del servo freno es tal que:

$$\Delta P = 0.75 [cm^2] - 0.1 [cm^2] = 0.65 [cm^2]$$

Por ende, la fuerza ejercida por el servo freno es.

$$F = P * A$$

$$F = 0.65 [cm^2] * 615 [cm^2]$$

$$F = 399,75 [kg]$$

Con todos estos cálculos en consideración se obtiene como fuerza final un valor de 401.48 [kg], resultado de la suma de la fuerza ejercida por el conductor junto con la fuerza agregada que ejerce el servo freno sobre la bomba de frenos.

Servo y bomba de frenos

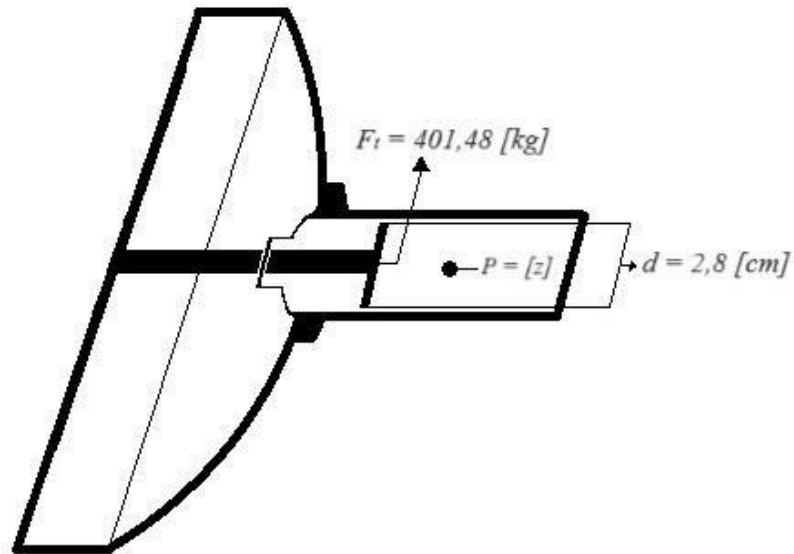


Gráfico 2: Representación grafica del cálculo de la presión ejercida por la bomba de frenos del vehículo Citroën AX GT y GTi en estudio.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.

Tomando en cuenta los datos del gráfico 2, se puede obtener el valor de la presión que ejerce el pistón en el interior de la bomba de frenos. El calculo de dicho valor es tal que:

$$A_{\text{pistón}} = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_{\text{pistón}} = 6.1544 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Por ende la presión en el interior de la bomba se obtiene de forma que:

$$P = F / A$$

$$P = 401.48 \text{ [kg]} / 6.1544 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$P = 65.23 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Ahora que se conoce el valor de la presión ejercida por la bomba de frenos, se procede a la parte final del cálculo, la cual consiste en calcular la fuerza aplicada por cada con junto de frenos respectivamente.

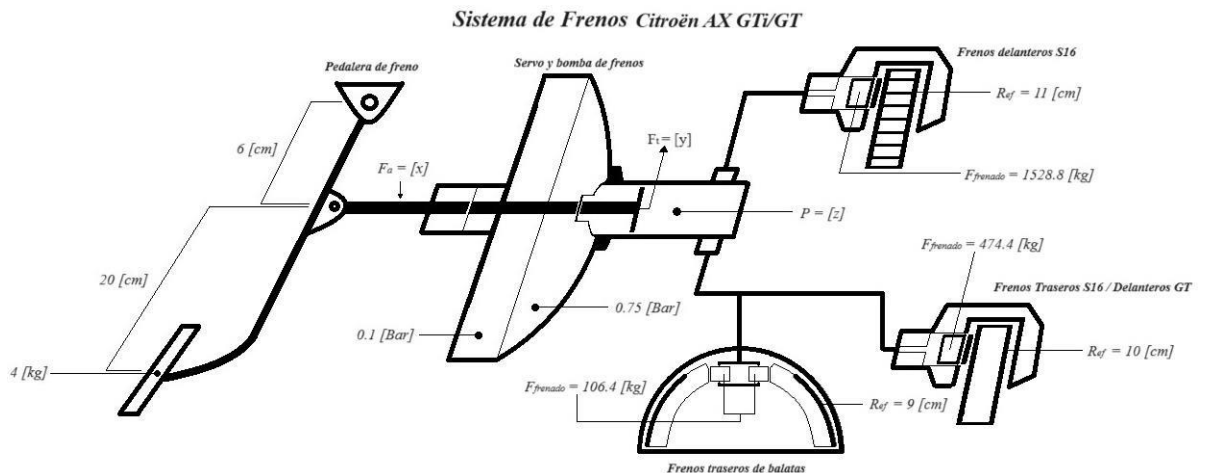


Gráfico 3: Representación del sistema de frenos para el modelo GTi y GT en estudio.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.

Tomando en cuenta todos los cálculos realizados, se puede llevar a cabo la realización del cálculo de la fuerza de frenado de cada rueda para los modelos GTi y GT respectivamente. Como se aprecia en el gráfico 3, están integrados de manera representativa los 3 conjuntos de frenos equipados en cada vehículo, esto debido a que el sistema de frenos desde el pedal hasta la bomba de frenos, es el original correspondiente a todos los Citroën AX.

Las fuerzas de frenado de los distintos conjuntos de freno se calculan tomando en cuenta las áreas de sus respectivos pistones multiplicados por la presión ejercida por la bomba de frenos:

Frenos delanteros de disco ventilados de S16:

$$d = 5.362 \text{ [cm]}$$

$$A = \left[\frac{\pi * 5.362^2}{4} \right]$$

$$A = 22.56 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$F = 65.23 * 22.56$$

$$F = 1471.58 \text{ [kg]}$$

Frenos delanteros de disco GT / traseros S16

$$d = 3 [cm]$$

$$A = \left[\frac{\pi * 3^2}{4} \right]$$

$$A = 7 [cm^2]$$

$$F = 65.23 * 7$$

$$F = 456.61 [kg]$$

Frenos traseros de tambor GT:

$$d = 1.2 [cm]$$

$$A = \left[\frac{\pi * 1.2^2}{4} \right]$$

$$A = 1.13 [cm^2]$$

$$F = 65.23 * 1.13$$

$$F = 73.73 [kg]$$

4.7 Par de frenado

El par de frenado, es el esfuerzo de torsión sobre la superficie de rozamiento que generan las pastillas de freno sobre la superficie del disco, existe con el objetivo de detener el desplazamiento generado por las ruedas con respecto a su eje central mediante el uso de roce.

Su expresión física es la siguiente:

$$N_{frenado} = 2 * \mu * F * R_{ref} * N$$

Donde:

$N_{frenado}$: Par de Frenado

2: Utilización de 2 pastillas de freno en posición opuesta

μ : Coeficiente de roce

F : Fuerza ejercida por el caliper

R_{ref} : Radio efectivo

N : Numero de pistones integrados en el caliper de frenos

Con esto en cuenta se puede llevar a cabo la determinación del par de frenado de cada conjunto de frenos.

Para el conjunto de frenos delantero del modelo GTi, el par de frenado de cada rueda delantera es tal que:

$$N_{frenado} = 2 * \mu * F * R_{ref} * N$$

$$N_{frenado} = 2 * 0.6 * 1471.58 * 0.11 * 2$$

$$N_{frenado} = 388.34 \left[\frac{kg}{mt} \right]$$

Para el conjunto de frenos trasero del modelo GTi, el cual lo equipa a su vez el modelo GT en sus ruedas delanteras, el par de frenado de cada rueda trasera es tal que:

$$N_{frenado} = 2 * \mu * F * R_{ref} * N$$

$$N_{frenado} = 2 * 0.6 * 456.61 * 0.1 * 2$$

$$N_{frenado} = 109.58 \left[\frac{kg}{mt} \right]$$

Para el conjunto de frenos trasero del modelo GT, el par de frenado de cada rueda trasera es tal que:

$$N_{frenado} = 2 * \mu * F * R_{ref} * N$$

$$N_{frenado} = 2 * 0.6 * 73.73 * 0.09 * 2$$

$$N_{frenado} = 15.92 \left[\frac{kg}{mt} \right]$$

En vista de los resultados, se espera una diferencia visible entre ambos frenados, posicionando teóricamente al modelo GTi como el vehículo superior en las cualidades de menor distancia de frenado, mayor resistencia al Brake Fading y eficacia de frenado.

Gracias a el aumento de dimensiones en los frenos es que se obtienen estos aumentos en unidades. Dentro del circuito, los frenos cumplen un rol fundamental en facultar al piloto para llevar el vehículo al límite de sus capacidades, cada metro en que el vehículo sea capaz de mantenerse acelerando significa una milésima y hasta valiosos segundos que otorgan resultados favorables.

La diferencia que se aprecia en los resultados del cálculo de par de frenado ratifica que la modificación de los frenos, cumple teóricamente con los requisitos impuestos por el propósito que se le dio al vehículo Citroën AX GTi. Cabe recalcar que su propósito y preparación va completamente enfocada a la ejecución de maniobras de frenado tardías, llevando estas maniobras al filo de un error e incluso accidente, por lo cual, el haber obtenido una mejora con respecto al sistema de frenos original es un completo éxito.

4.8 Ubicación designada para la experimentación

La ubicación seleccionada para la experimentación es la calle Aviador Acevedo, la cual se encuentra relativamente aislada y es muy poco transitada, sumado a que el pavimento es nuevo y de gran longitud por lo cual, genera el escenario perfecto para la comparación.

En la misma calle, se establece un punto, de referencia, desde el cual se inicia el frenado de los vehículos.



Figura 4-32: Vista superior calle Aviador Acevedo, ubicación seleccionada para la experimentación.

Fuente: Google maps, 2023.

4.9 Obtención de resultados y análisis de datos

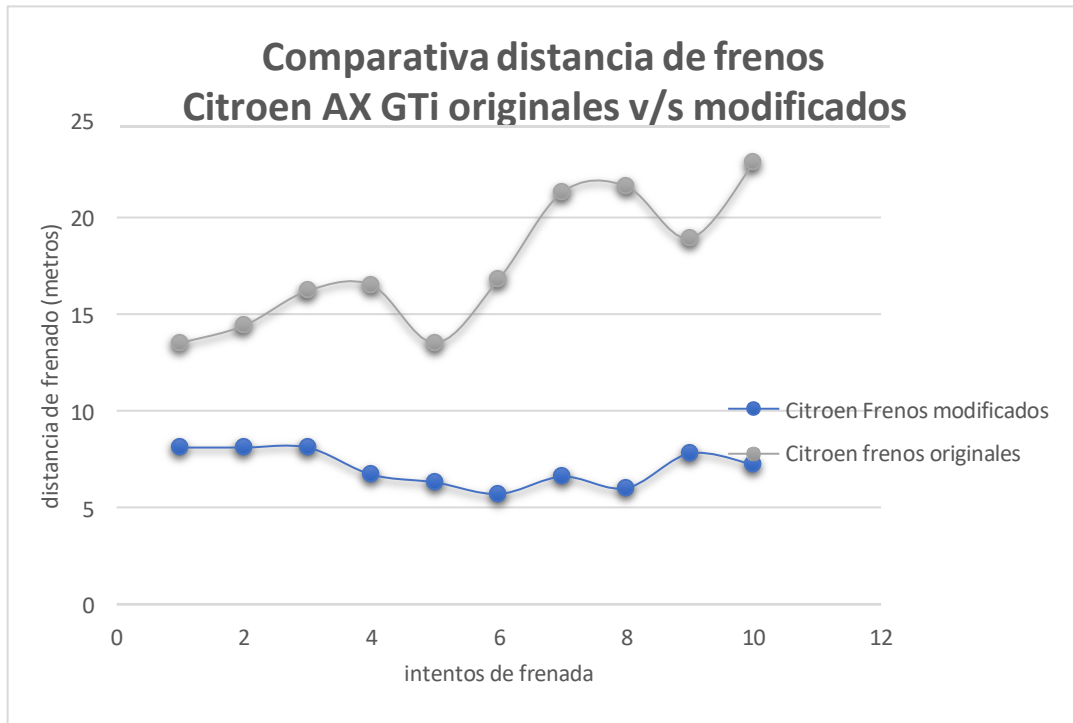


Gráfico 2: diferencia de distancias de detención entre el modelo GTi y GT en estudio.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.

El gráfico 1, muestra diferencias evidentes en las distancias de frenado entre ambos conjuntos de frenos, valga recalcar que ambos vehículos son el mismo chasis y bastidor, siendo su masa diferente por no más de 10 [kg], diferencia generada por el conductor.

- Grafica Gris: Representa la distancia de frenado del Citroën AX GT, equipado con frenos GTi. Se llevaron a cabo 10 intentos de frenada con un notable aumento en la distancia de parada. El vehículo presento dificultades a la hora de frenar conforme se iba avanzando en las pruebas casi duplicando su distancia de parada con respecto al intento inicial a lo largo del ensayo.
- Grafica Azul: Representa la distancia de frenado del Citroën AX GTi, equipado con frenos de Peugeot 106 S16. Se llevaron a cabo los mismos 10 intentos en igualdad de condiciones, sin embargo, la distancia inicial fue cerca de 50% inferior en comparación al conjunto de frenos GTi. Por otra parte, se aprecia una gráfica mucho más lineal, indicando que no hubo un aumento en la distancia final de parada a lo largo de los ensayos.

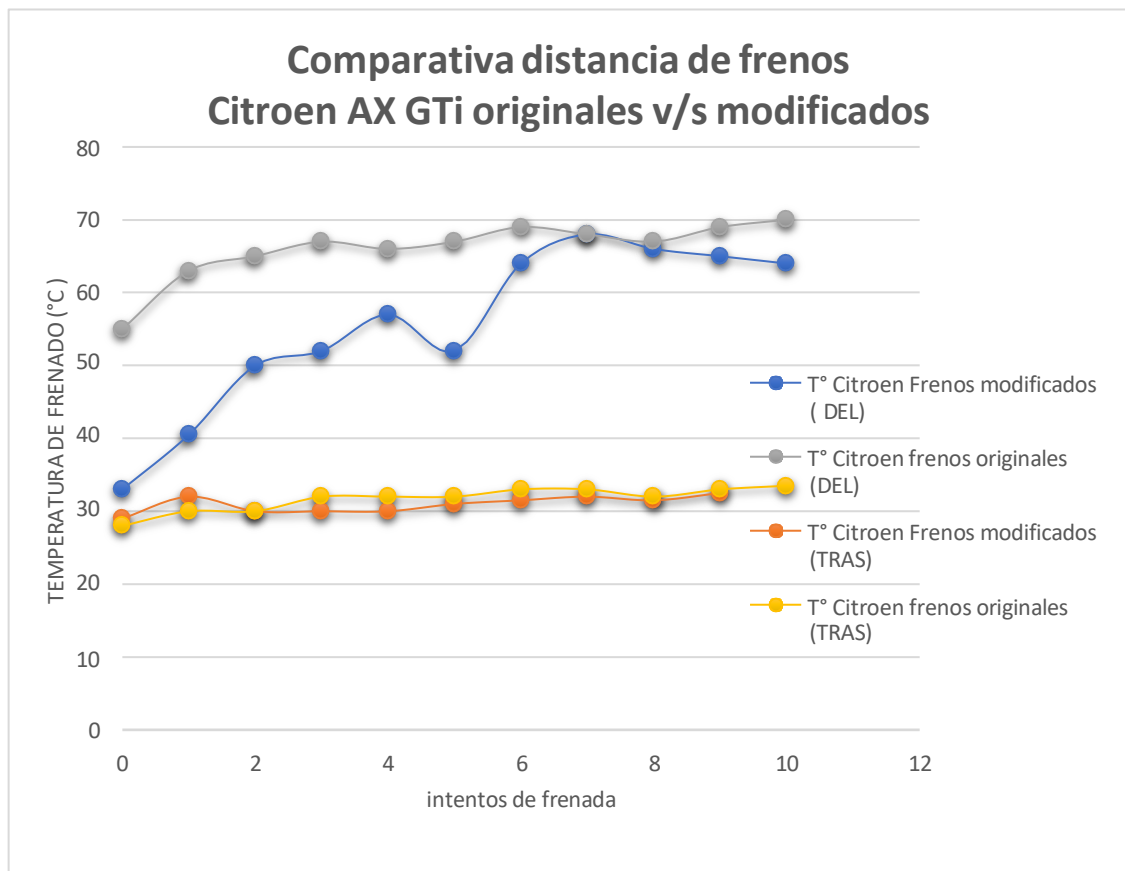


Gráfico 3: diferencia en la temperatura final del sistema de frenos entre el modelo GTi y GT en estudio.

Fuente: Elaborada en base a toma de medidas reales de ambos vehículos en estudio.

El grafico 3, muestra las diferencias en la temperatura de los frenos entre ambos conjuntos. Se aprecian líneas similares entre ambos vehículos y temperaturas finales similares. Cabe recalcar que ambos autos recibieron una “vuelta de calentamiento” la cual consistió en 5 minutos de conducción regular previo a la ejecución de los ensayos.

Conjunto de frenos GTi equipados en el vehículo Citroën AX GT:

- Grafica Gris: representa la temperatura v/s el número de intentos de frenada, en este caso de los frenos delanteros. Como se mencionó anteriormente, el Citroën AX GT recibió una “vuelta de calentamiento” he ahí la diferencia inicial en la temperatura de los frenos delanteros. Con esto en cuenta, se puede apreciar como los discos de frenos generan un alza de temperatura leve pero constante. Debido a esto, queda expuesto un notable déficit en el enfriamiento del sistema de frenos GTi delantero.
- Grafica amarilla: muestra una temperatura constante, dando a conocer que el mayor esfuerzo a la hora de llevar a cabo un frenado por el reparto de frenada del vehículo, lo llevan a cabo los frenos delanteros.

Conjunto de frenos S16 equipados en el vehículo Citroën AX GTi:

- Grafica Azul: se puede apreciar una temperatura inicial cerca de 40% menor con relación al conjunto de frenos delanteros GTi, esto pese a haber recibido la misma “vuelta de calentamiento”. Por otra parte, se puede ver un aumento lento y progresivo en la temperatura de los discos de freno, con bajas de temperatura durante el periodo de reinicio del ensayo de frenada.

De lo anteriormente mencionado se infiere que la mayor dimensión del disco de frenos proporciona una mayor refrigeración, cualidad de la que carece el conjunto de frenos originales GTi, los cuales generaron una curva de temperatura v/s intento de frenada con una permanencia notable en un rango de temperatura elevado. Todo esto aun cuando el ensayo de frenada fue realizado de la misma manera y a la misma hora del día, sin variación en la temperatura ambiente.

- Grafica Naranja: al igual que en el caso de los frenos GTi, debido al reparto de frenada, no se aprecia una mayor variación de temperatura conforme avanza el ensayo de frenada, se genera una leve baja de temperatura con relación a los frenos de GTi, esto atribuible a la diferencia de refrigeración entre el conjunto de frenos de tambor, equipados en el modelo GT v/s el conjunto de frenos de disco, equipados en el modelo GTi modificado.

Gráficamente, se aprecian diferencias notables entre un vehículo y otro, valga recordar que ambos son exactamente iguales, exceptuando el sistema de frenos equipado en cada uno respectivamente.

Al momento de llevar a cabo la experimentación, se hacen notables diversos efectos. Principalmente, el modelo GT, presenta cada vez más dificultades para detenerse, el pedal de freno comienza a requerir más presión para que la distancia de parada sea constante. Por otra parte, se percibe poca tracción por parte de los frenos, es decir, Brake fade. La sensación que produjo el vehículo indicó poca capacidad para detenerse, como si el pedal de freno no fuera capaz de ejercer fuerza sobre el sistema de frenos.

Con respecto al modelo GTi, no presenta mayor presencia de cambios negativos conforme se lleva a cabo la experimentación. A lo largo de las pruebas, el modelo GTi tampoco presenta signos de fatiga en su sistema de frenos. Todo cumple sus funciones dentro de los parámetros ideales en un sistema de frenos.

Teniendo claras las diferencias entre ambos sistemas de frenos, se puede concluir a través del análisis de la gráfica que:

- El sistema de frenos tipo S16 es mas eficaz que el sistema de frenos original del modelo GTi, debido a su capacidad de detenerse en una menor distancia.
- El sistema de frenos original del modelo GTi sufre Brake fade. Se aprecia un alza de temperatura final tras cada intento de frenado que se lleva a cabo con el modelo GT, la cual coincide directamente con el incremento en la distancia de parada del mismo vehículo.
- El sistema de frenos tipo S16 posee mayor capacidad de disipación de calor. Se aprecia claramente un rendimiento mejor debido a un incremento progresivo de la temperatura en el sistema de frenos posterior a cada intento de frenado.

CONCLUSIONES

Con el paso de los años las tecnologías en sistemas de frenos han evolucionado, el buen diseño según aplicación es el factor predominante en la eficacia de los frenos. Se pudo observar como el sistema de frenos dentro de la misma familia de vehículos, fue mejorando conforme a la mejora de las características de cada sucesor, probando ser obsoleto el sistema de frenos empleado para el modelo más básico en aplicaciones deportivas más modernas.

Gracias a dicha evolución y el ingenio de los múltiples consumidores del campo automotriz, es posible llevar a cabo procedimientos seguros de reforma en sistemas de frenos, los cuales son fundamentales para la seguridad de los conductores que toman la decisión de potenciar sus automóviles con el fin de ser usados en automovilismo deportivo. Por otra parte, debido a las diversas mejoras a través de los diversos modelos de una misma familia, es que, en el caso del Citroën AX, se logra extender el tiempo de vida de estos vehículos, optando a sistemas de frenos disponibles en modelos mas nuevos y que proporcionan un mejor desempeño con respecto a sus sistemas de freno originales.

Es fundamental llevar a cabo mejoras en el sistema de frenos dentro del automovilismo deportivo, ya que, las distancias de parada se ven reducidas drásticamente tras la implementación de un conjunto de frenos mas grande como se muestra previamente en los ensayos comparativos. Estas mejoras pueden ser implementadas en procesos de restauración con el objetivo de “rejuvenecer” un vehículo, ya que, siempre serán benéficas a modo de actualización si el conjunto de frenos implementado es de un modelo mas nuevo de la misma familia, o bien se instalan tras un estudio riguroso de sus dimensiones.

Se concluye que llevar a cabo una reforma del sistema de frenos bien aplicada, es benéfica para cualquier ámbito del campo automotriz según se estime necesario, ya que, aporta a la seguridad del vehículo; en el caso de vehículos mas antiguos, les permite estar a la par de los vehículos mas modernos. Se demuestra anteriormente, que un vehículo de 27 años de antigüedad, puede competir de manera segura con vehículos mas actuales en el circuito de carreras.