



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica

AUTORES:

Rafael Alberto Dávila Rosales

Vanny Daniel Vallejo Duarte

TUTOR:

Ing. Fabricio Corrales

Adaptación de un sistema de freno adaptando un
motor eléctrico en un vehículo m1

CERTIFICACIÓN DE AUDITORÍA

Nosotros, Rafael Alberto Dávila Rosales y Vanny Daniel Vallejo Duarte, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.



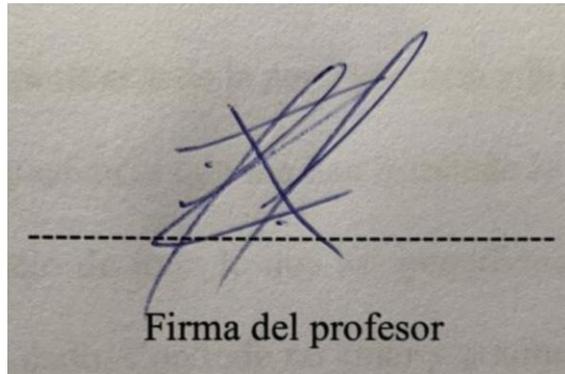
Rafael Alberto Dávila Rosales



Vanny Daniel Vallejo Duarte

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Luis Fabricio Corrales Zurita, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Firma del profesor

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermano, Geovanny Vallejo, Facioli Duarte y Andre Vallejo cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido la base de mi educación y crecimiento personal. Su dedicación incondicional y sus palabras de aliento me han guiado en cada paso de este camino. A mi padre, Geovanny, por enseñarme la importancia de la perseverancia y la ética en el trabajo, y a mi madre, Facioli, por su infinito amor y paciencia que me han brindado la fortaleza para superar cualquier obstáculo. Esta tesis es un reflejo de todo lo que he aprendido gracias a ustedes y un pequeño homenaje a todo lo que me han dado. Con todo mi amor y gratitud, les dedico este logro.

Vanny Daniel Vallejo Duarte

DEDICATORIA

Con mucha emoción y agradecimiento a mis padres, Pedro Rafael Dávila Merino y Andrea Del Carmen Rosales Rodríguez, cuya guía y apoyo incondicional para no rendirme han sido la base de mi educación y crecimiento personal, ya que, sin su sacrificio y amor, este logro no hubiera sido posible, en este momento tan especial de mi vida, tan cerca de alcanzar un objetivo tan grande, solo quiero enorgullecerles y agradecerles de todo corazón.

Y finalmente, a todos aquellos que han creído en mí y a mis amigos los cuales me han acompañado en este viaje académico. Este trabajo es un reflejo de su confianza y mi gratitud hacia ellos.

Con todo mi cariño para ustedes, les dedico este logro.

Rafael Alberto Dávila Rosales

AGRADECIMIENTO

A mi querido hermano, Andre Vallejo, por su constante apoyo y compañerismo a lo largo de este camino. Tu confianza en mis capacidades y tus palabras de ánimo han sido una fuente invaluable de motivación. Gracias por estar siempre a mi lado, celebrando mis logros y ayudándome a superar los desafíos. Este logro también es tuyo, porque sin tu presencia y apoyo, este viaje habría sido mucho más difícil. Con gratitud y cariño, te dedico este agradecimiento.

Vanny Daniel Vallejo Duarte

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta carrera solo quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han hecho posible este logro en mi vida.

En primer lugar, a mis padres y abuelos por su amor, apoyo incondicional y por ser mi mayor fuente de inspiración en todo momento para ayudarme a sobresalir. Gracias por creer en mí y por sus innumerables sacrificios para que pudiera alcanzar mis metas.

A mi director de tesis, Fabricio Corrales por su invaluable orientación, paciencia y por compartir su conocimiento y experiencia con nosotros.

Finalmente, quiero agradecer a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto llegara a buen término. Su apoyo y colaboración han sido fundamentales en esta travesía.

Gracias a todos por ser parte de este logro.

Rafael Alberto Dávila Rosales

ÍNDICE DE CONTENIDO

Certificación de auditoría.....	III
Aprobación del tutor.....	IV
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Resumen.....	- 11 -
Abstract.....	- 12 -
Introducción.....	- 13 -
Marco teórico.....	- 15 -
Materiales y métodos.....	- 19 -
Procedimiento.....	- 24 -
Resultados y discusión.....	- 28 -V
Variables.....	- 28 -
Cálculos teóricos:.....	- 30 -X
Conclusiones.....	- 31 -X
Bibliografías.....	- 33 -I

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desmontaje de neumáticos y sistema de frenos de tambor.....	XXIII
Figura 2. Limpieza del tren delantero.....	XXIII
Figura 3. Colocación de placa y mordaza de freno.....	XXIV

Figura 4. Colocación de cañerías de freno nuevas.....	XXIV
Figura 5. Flujograma del proceso de instalación.....	XXVII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales utilizados.....	XX
Tabla 2. Pruebas realizadas en el vehículo.....	XXX

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula comparativa de resultados.....	XXII
---	------

Adaptación de un sistema de freno adaptado un motor eléctrico en un vehículo m1.

Ing. Fabricio Corrales. MSc¹, Rafael Dávila², Vanny Vallejo³

¹Docente Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE lucorraleszu@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

²Estudiante Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE radavilaro@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³Estudiante Escuela de Ingeniería Automotriz – UIDE vavallejodu@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen

El estudio y proyecto realizado se basa en la transición hacia una movilidad más sostenible ha impulsado el interés por la conversión de vehículos con motores a gasolina y diésel, por lo que se ha decidido tomar un vehículo de la categoría m1, en este caso un Volkswagen, para poder de esta manera presentar un estudio detallado sobre el inicio de la transformación de un vehículo de combustión interna a eléctrico, abarcando aspectos técnicos. Este estudio comenzó con una revisión completa de la literatura existente sobre la tecnología de vehículos eléctricos, incluyendo sus componentes clave como baterías, motores eléctricos y sistemas de control, también se discuten las ventajas y desafíos asociados con los vehículos con motores eléctricos y con el proyecto en sí comparándolo con los datos tomados antes de la conversión a eléctrico contando con un motor 1.6 litros el cual obtuvo una gran pérdida de potencia a la altura de la ciudad de Quito (2850m.s.n.m.), y tomando en cuenta también el apartado de los frenos, ya que este en un inicio traía todos los frenos de tipo “tambor” por lo que se decidió implementar y mejorar este sistema con frenos de discos y una bomba de vacío para simular el servofreno de este. La mejora que se obtuvo en las pruebas finales fue de aproximadamente un 41,88% en relación con su sistema original con motor de combustión interna, y frenos de tipo tambor, lo cual era un sistema un poco ineficiente para el vehículo tomando en cuenta también el aumento de potencia que este tuvo con su conversión a eléctrico.

Palabras clave: vehículo eléctrico, sistema de frenos, ganancia de potencia, rendimiento del motor, mejora.

Abstract

The study and project conducted are based on the transition towards more sustainable mobility, which has spurred interest in converting vehicles with gasoline and diesel engines. Therefore, it was decided to use a category M1 vehicle, in this case, an Volkswagen, to present a detailed study on the beginning of the transformation of an internal combustion vehicle into an electric one, covering technical, economic, and environmental aspects. This study began with a comprehensive review of the literature on electric vehicle technology, including key components such as batteries, electric motors, and control systems. The advantages and challenges associated with electric vehicles and the project itself are also discussed, comparing data taken before the conversion to electric. The vehicle originally had a 1.6-liter engine, which experienced significant power loss at the altitude of Quito (2850 meters above sea level). The brake system was also considered, as the vehicle initially had drum brakes. Consequently, it was decided to design, implement, and improve this system with disc brakes and a vacuum pump to simulate the brake booster. The improvement obtained in the final tests was approximately 41.88% in relation to its original system with an internal combustion engine and drum-type brakes, which was a somewhat inefficient system for the vehicle also taking into account the increase in power that it had with its conversion to electric.

Keywords: electric vehicle, brake system, power gain, engine performance, improvement.

Introducción

Para este proyecto el cual está enfocado en la competencia de $\frac{1}{4}$ de milla, hay que tomar en cuenta que se reemplazó su motor original de combustión interna por un motor eléctrico, por lo cual este va a ganar potencia de una manera considerable, tomando en cuenta la mejora de rendimiento del vehículo en cuanto a la aceleración, también se debe mejorar el sistema de frenado del mismo ya que este será utilizado en condiciones de alta demanda, ya que en una competencia de $\frac{1}{4}$ de milla, el vehículo debe alcanzar su máxima velocidad en un corto lapso de tiempo, lo que exige tanto una aceleración extrema como un sistema de frenado muy eficiente para detenerse rápidamente al final de la carrera.

En los últimos años, dentro del automovilismo ecuatoriano, se ha tomado como iniciativa implementar vehículos eléctricos dentro de los diferentes tipos de competencias, donde la mayoría toma en cuenta el rendimiento de los motores y no de otros sistemas como en este caso los frenos. Este trabajo de investigación fue enfocado en el sistema de frenado, ya que como se sabe en los vehículos los cuales cuentan con un motor de combustión interna, se encuentra un servofreno el cual funciona tomando el vacío que existe en el motor para así poder efectuar el frenado de una forma más suave y eficiente; por lo que para esta conversión realizada en el vehículo elegido, se optó por adaptar un sistema de frenos de disco ya que este originalmente traía frenos tipo tambor, adicional se incluyó una bomba que simule y genere el vacío necesario para el servofreno para que este funcione efectivamente, ya que al realizar la conversión de un motor de combustión interna a uno eléctrico este iba a ganar más fuerza y velocidad.

La investigación del presente proyecto se basará en diversos artículos que nos proporcionarán los fundamentos necesarios sobre el funcionamiento de los sistemas de frenado y su adaptación en diferentes vehículos. El artículo “Diseño e implementación de un sistema de frenos de disco en un vehículo con frenos de tambor” (pág. 24) fue útil para comprender el proceso de conversión de frenos de tambor a disco, abarcando los materiales y componentes a utilizar, así como las mejoras obtenidas en seguridad y maniobrabilidad. Además, el artículo “Eficiencia del sistema de frenos en vehículos eléctricos” (pág. 13) nos proporcionará información sobre la mayor eficiencia y seguridad que se logra al adaptar un sistema de frenos eléctrico, comparado con uno de combustión. Por otro lado, el artículo “Adaptación de frenos y dirección del vehículo anfíbio”

(pág. 16-32) explicará cómo adaptar el sistema de frenado en vehículos eléctricos, sustituyendo el vacío que genera el motor de combustión con una alternativa adecuada para los eléctricos. Así mismo, “Automotive Brakes” de Jack Erjavec (pág. 20) será una guía clave para entender en detalle los tipos de frenos, su mantenimiento, y las diferencias técnicas entre frenos de tambor y disco, lo que ayudará a realizar una conversión efectiva. Finalmente, “Brake Design and Safety (2nd Edition)” de Rudolf Limpert (pág. 43) proporcionará una base sólida para el diseño y la seguridad de los sistemas de frenos, detallando los cálculos necesarios para dimensionar adecuadamente los frenos de disco en relación con los de tambor.

Estos artículos nos proporcionarán el conocimiento técnico y teórico necesario para el desarrollo de nuestro proyecto, asegurando una adaptación eficiente y segura del sistema de frenos en vehículos M1 eléctrico.

Marco teórico

Para empezar con este proyecto de tesis, se debe tener en cuenta que la adaptación se va a realizar en un vehículo el cual fue cambiado su tren motriz de un motor de combustión interna a uno eléctrico, por lo cual el vehículo aumento su potencia con más de 40HP; teniendo en cuenta que este va a competir en carreras de $\frac{1}{4}$ de milla, por lo cual se necesita mejorar el sistema de frenos para las exigencias requeridas en este tipo de competencias.

Las competencias de $\frac{1}{4}$ de milla, también conocidas como drag racing, son una modalidad de carreras de aceleración en las que dos vehículos compiten en línea recta durante una distancia de 402 metros (un cuarto de milla). El objetivo principal es alcanzar la máxima velocidad en el menor tiempo posible desde un arranque detenido. Estas competencias ponen a prueba la potencia, la tracción y la habilidad del conductor para cambiar de marchas con precisión y rapidez. La preparación y el ajuste del motor, la transmisión, y los neumáticos juegan roles cruciales en el desempeño del vehículo.

La importancia del sistema de frenos en estas competencias no puede subestimarse. Aunque el enfoque principal es la aceleración y velocidad, una vez que los vehículos cruzan la línea de meta, deben ser capaces de detenerse de manera segura en un corto espacio de tiempo. Los sistemas de frenos deben ser extremadamente eficientes para disipar la enorme cantidad de energía cinética generada durante la carrera. Además, en caso de cualquier emergencia o pérdida de control, los frenos deben proporcionar una respuesta inmediata y confiable para evitar accidentes graves.

Una vez entendida la problemática, se debe tener claro que es y cómo es el funcionamiento de un servofreno en un vehículo de combustión interna; un servofreno básicamente es un componente integrado en el sistema de frenos de los vehículos, utilizado para reducir la carga física del conductor al aumentar la fuerza aplicada al presionar el pedal de freno. En la actualidad existen dos tipos de servofreno y se tratan de:

- Servofreno Mastervac: este sistema es ampliamente utilizado y se compone de un servofreno neumático que se instala en serie entre el pedal del freno y la bomba correspondiente.

- Servofreno Hidrovac: por otro lado, el servofreno se coloca entre la bomba de freno y los cilindros receptores. Una ventaja significativa de este sistema es su capacidad para ser instalado en cualquier ubicación del vehículo, ya que se puede accionar a distancia mediante un sistema hidráulico y ocupa poco espacio.

Para un vehículo uno de los sistemas más importantes es el sistema de frenos, ya que se basa en la seguridad de cualquier vehículo, debido a que permite controlar su velocidad y detenerlo de manera eficiente y segura. Este sistema funciona mediante la conversión de la energía cinética del vehículo en energía térmica, utilizando fricción, ya que como se menciona: "El sistema de frenos de disco proporciona una mejor disipación del calor en comparación con los frenos de tambor, lo cual es crucial para mantener una eficiencia de frenado constante bajo condiciones de uso intensivo." (Halderman, 2016, p. 152).

Existen varios tipos de sistemas de frenos, entre los que destacan los frenos de disco y los frenos de tambor. Los frenos de disco son más comunes en los vehículos modernos como se menciona: "La adopción de frenos de disco en vehículos modernos se debe a su capacidad superior para resistir el desvanecimiento de los frenos, un fenómeno donde la capacidad de frenado disminuye debido al sobrecalentamiento." (Erjavec, 2015, p. 204). Esta adopción se debe a su mayor eficiencia y capacidad de disipar el calor. Estos frenos funcionan mediante la presión de las pastillas de freno contra un disco metálico que gira con las ruedas, lo que genera fricción y reduce la velocidad del vehículo, "Los frenos de disco, al no depender de la expansión térmica para aumentar la fricción, ofrecen una respuesta de frenado más predecible y confiable, especialmente en situaciones de alta carga y velocidad." (Limpert, 1999, p. 89).

Por otro lado, los frenos de tambor, aunque menos eficientes en comparación con los frenos de disco, aún se utilizan en algunos vehículos, especialmente en las ruedas traseras. En este sistema, las zapatas de freno se expanden dentro de un tambor que gira con la rueda, creando fricción y disminuyendo la velocidad del vehículo, "A pesar de ser menos eficientes en la disipación del calor que los frenos de disco, los frenos de tambor siguen siendo populares en aplicaciones donde el costo y la simplicidad son factores importantes, como en vehículos económicos y en ejes traseros de muchos automóviles." (Erjavec, 2015, p. 192).

En carreras de 1/4 de milla, la importancia del sistema de frenos de disco es crucial para la seguridad y el rendimiento del vehículo. Estos frenos proporcionan una capacidad de frenado

superior y una respuesta más rápida en comparación con otros tipos de frenos, lo que es esencial para detener rápidamente el vehículo al final de la carrera, ya que se dice que, además, su resistencia al sobrecalentamiento asegura un rendimiento constante bajo condiciones extremas. Un sistema de frenos en buen estado es esencial para prevenir accidentes, ya que permite detener el vehículo de manera controlada en diversas condiciones de conducción. Además, contribuye a la durabilidad de otros componentes del vehículo al reducir el desgaste causado por frenadas bruscas y constantes, "La estructura abierta de los frenos de disco permite una ventilación más efectiva, lo cual no solo mejora la disipación del calor, sino que también reduce la acumulación de polvo y agua, factores que pueden afectar negativamente el rendimiento de los frenos de tambor." (Bosch, 2011, p. 321).

El mantenimiento regular del sistema de frenos, incluyendo la revisión y reemplazo de pastillas, discos, zapatas y tambores, así como la inspección del nivel y calidad del líquido de frenos, es vital para garantizar su funcionamiento óptimo. En pocas palabras, el sistema de frenos no solo es crucial para la protección del piloto y los pasajeros, inclusive es importante para la integridad del vehículo. Su correcto funcionamiento y mantenimiento donde se puede observar claramente entre evitar un accidente y estar involucrado en uno, destacando así la importancia de prestar atención constante a este componente vital del automóvil.

Este sistema se basa en la existencia de un pistón ubicado detrás del pedal de freno, el cual opera aprovechando el vacío creado en el colector de admisión del motor del vehículo. Este vacío genera una depresión en una cámara, la cual actúa sobre un émbolo interno. Al presionar el freno, se abre una válvula que facilita el paso de la presión atmosférica al otro lado del émbolo, impulsando así su movimiento.

Como se puede apreciar, el servofreno viene directamente de la mano con el motor de combustión interna de un vehículo, lo que implica que, al realizar el cambio del motor de combustión interna de un vehículo a uno eléctrico, no se trata de solo adaptarlo, sino se debe mejorar el sistema de freno y de ser el caso como en este proyecto de tesis cambiarlo. "La integración de bombas de freno eléctricas en los sistemas de frenado modernos ha permitido mejorar la precisión del control de frenos, especialmente en aplicaciones de frenado regenerativo y sistemas avanzados de asistencia al conductor." (Warner, 2011, p. 134).

Por lo que se adaptará un servofreno eléctrico, el cual tendrá un pequeño motor o bomba eléctrica, la cual será capaz de generar el vacío que este necesita, aparte de que amplificará la fuerza que el

piloto debe hacer con el pedal de freno, por lo que será más eficiente y cómodo al momento de accionarlo. "Las bombas de freno eléctricas ofrecen una respuesta de frenado más rápida y eficiente en comparación con las bombas de freno tradicionales, debido a su capacidad para generar presión hidráulica independientemente de la velocidad del motor." (Hughes, 2019, p. 78). Para el presente proyecto vamos a realizar mediante un proceso matemático comparativo, este método consiste en realizar comparaciones sistemáticas entre variables, es decir entre dos o más variables, las cuales permitan determinar relaciones en términos matemáticos, por medio de la comparación de los datos se puede realizar diferentes comparaciones que se puede dar en números enteros, números con decimales o en porcentajes. La cual en esta se puede observar a perfección las diferencias, consecuencias y causas de la interacción entre las variables. Este proceso matemático se va a realizar cuando se realiza las prácticas de frenado para tomar en cuenta los puntos de frenando y la distancias que se va a demorar en frenar el vehículo para tomar los diferentes datos.

Materiales y métodos

En una adaptación de frenos de tambor a frenos de disco, la eficiencia del nuevo sistema se mide mediante pruebas de frenado en línea recta, utilizando métodos cuantitativos y experimentales para asegurar una evaluación precisa y completa.

Al investigar y buscar los tipos de kit de conversión de frenos, se encontró tres tipos principales, los cuales se dará una breve descripción a continuación:

- **Kit de Conversión a Frenos de Disco Estándar:**

Descripción: Reemplaza los frenos de tambor delanteros con frenos de disco estándar, proporcionando una mejora significativa en la potencia de frenado.

Componentes: Discos de freno ventilados, pinzas, pastillas de freno, soportes de pinzas, rodamientos y sellos, herrajes de montaje.

Ventajas: Mayor capacidad de frenado y mejor rendimiento en condiciones de frenado repetitivo. Fácil de instalar con herramientas básicas.

- **Kit de Conversión a Frenos de Disco de Alto Rendimiento:**

Descripción: Este kit está diseñado para mejorar aún más el rendimiento de frenado, ideal para vehículos modificados o de alto rendimiento.

Componentes: Discos de freno perforados y ranurados, pinzas de freno de mayor tamaño (a menudo de 4 pistones), pastillas de freno de alto rendimiento, soportes de pinzas reforzados, líneas de freno de acero inoxidable, rodamientos de alta calidad.

Ventajas: Mejor disipación de calor, reducción del desgaste y mejor respuesta de frenado bajo condiciones extremas.

- **Kit de Conversión a Frenos de Disco con Potenciador de Vacío:**

Descripción: Incluye un servo o potenciador de vacío para reducir el esfuerzo en el pedal del freno, mejorando la facilidad de uso.

Componentes: Discos de freno, pinzas, pastillas, servo de freno (booster), soportes de pinzas, válvula de retención de vacío, rodamientos y sellos.

Ventajas: Reducción del esfuerzo en el pedal de freno, ideal para conductores que buscan una experiencia de frenado más cómoda.

En este caso se eligió Kit de Conversión a Frenos de Disco Estándar para el vehículo elegido, por su equilibrio entre eficiencia, adaptabilidad, y mejoras en seguridad y rendimiento, "El Volkswagen Escarabajo, conocido por su diseño simple y robusto, originalmente utilizaba frenos de tambor en las cuatro ruedas. Este sistema, aunque menos eficiente en la disipación de calor que los frenos de disco, era adecuado para el peso y las prestaciones del vehículo, proporcionando una frenada efectiva y fiable en su contexto histórico." (Hadinger, 2003, p. 112).

La principal razón es la significativa mejora en la potencia de frenado. Los frenos de disco disipan el calor de manera más eficiente que los frenos de tambor, lo que reduce el riesgo de desvanecimiento del freno en frenadas prolongadas o repetitivas y proporciona una respuesta de frenado más consistente. Esto es crucial para mejorar la seguridad del vehículo.

La compatibilidad directa con el vehículo asegura una instalación sin complicaciones, accesible para la mayoría de los entusiastas del automóvil con habilidades mecánicas. Los frenos de disco también simplifican el mantenimiento. Las pastillas de freno son más fáciles de reemplazar y los discos de freno tienden a requerir menos ajustes y alineaciones en comparación con los frenos de tambor

Los métodos experimentales implican la realización de pruebas controladas en condiciones específicas para observar el comportamiento del sistema de frenos en situaciones reales. Estas pruebas incluyen múltiples intentos de frenado desde diferentes velocidades y en distintas condiciones, replicando escenarios que el vehículo podría enfrentar en una competencia de 1/4 de milla. Al realizar estas pruebas, se puede verificar cómo responde el nuevo sistema de frenos a factores como el calentamiento y eficiencia, aspectos críticos para la seguridad y el rendimiento en carreras, estas pruebas se realizaron bajo la normativa FMVSS No. 135 (Federal Motor Vehicle Safety Standards) donde este reglamento establece las pruebas de frenado a diferentes velocidades, incluyendo 20, 40 y 60 km/h (13, 25, y 37 mph respectivamente); estas velocidades se utilizan para evaluar la eficiencia de los frenos en diferentes situaciones, ya que las competencias de ¼ de milla en Ecuador se rigen bajo la normativa NHTSA, debido a que la FMVSS No. 135 regula los sistemas de frenado para automóviles ligeros, asegurando que puedan frenar de manera segura desde velocidades elevadas, como las que se alcanzan en una carrera de 1/4 de milla, de igual

manera esta normativa nos ayuda a evaluar la capacidad de frenado en diversas velocidades, incluidas pruebas a alta velocidad.

Tabla 1

Materiales utilizados

MATERIALES A UTILIZAR	
Vehículo elegido	
Placa de acople de mordaza	
Discos de freno	
Pastillas de frenos	
Bomba de freno eléctrica	
Cañerías	
Líquido de freno Bosch DOT 4	
PROPIEDADES DEL VEHÍCULO	
Descripción	Es un vehículo el cual, con su diseño, peso, y facilidad de trabajo en sus componentes, tiene una mecánica sencilla en el cual se puede realizar el proyecto de mejor forma.
Uso	Auto de competencia de ¼ de milla
Peso	870kg
PROPIEDADES DE LA PLACA DE ACOUPLE	
Descripción	Esta placa la cual se va a adaptar ayudará a poderse acoplar la mordaza de freno, acoplándolo desde la manzana del vehículo.
Uso	Sujeción mordazas de freno
Material	Acero A35
Características	Resistencia a altas temperaturas

PROPIEDADES DE LOS DISCOS DE FRENO

Descripción	Se eligió estos discos de freno de un hyundai i10 marca Kashima debido a su compatibilidad, eficiencia y resistencia, lo cual se tratan de las características perfectas para el vehículo escogido
Uso	Aumentar la eficiencia de frenado
Peso	12 kg
Diámetro	241,01 mm

PROPIEDADES DE LAS PASTILLAS DE FRENO

Descripción	De igual manera se utilizarán pastillas de freno marca kashima, debido a su duración, eficiencia y compatibilidad con los discos.
Uso	Aumentar la eficiencia de frenado
Material	Carbón
Características	Resistencia a altas temperaturas

PROPIEDADES DE LA BOMBA DE FRENO ELÉCTRICA

Descripción	Se utilizará una bomba de vacío de freno marca hella, debido a la confiabilidad del producto y su eficiencia de uso, aparte de que se acopla de manera correcta en el vehículo
Uso	Generar vacío para el servofreno
Peso	2,2 lb
Presión	Programable hasta 100 bar
Voltaje	12 V

PROPIEDADES DE LAS CAÑERÍAS

Descripción	Se utilizarán cañerías de cobre con recubrimiento de caucho, debido a su uso común el cual nos ayudará a conducir el fluido y evitar la corrosión.
Uso	Conducir el fluido al sistema de frenos

Material	Cobre y caucho
Características	Resistencia a corrosión y correcto flujo del líquido de frenos.

PROPIEDADES DEL LÍQUIDO DE FRENO

Descripción	Se utilizará este tipo de fluido debido a que sus propiedades son las ideales para el resultado buscado, ya que por su resistencia a altas temperaturas y viscosidad ayuda a mantener el sistema lubricado.
Uso	Transmitir la fuerza del pedal de freno a las ruedas y mantener el sistema lubricado.
Densidad	1.07 g/cm ³
Punto de ebullición	Seco: 230°C; húmedo: 155°C

Para reemplazar los frenos también se va a realizar pruebas de campo que se basaran en puntos y distancias de frenado para comparar si el nuevo sistema mejorara y usaremos el siguiente método. El método matemático de comparativo se utiliza para establecer una relación cuantitativa entre dos o más elementos y determinar si son iguales, mayores o menores entre sí. Se utiliza la fórmula:

Ecuación 1

Fórmula comparativa de resultados

$$C = \frac{(\text{Valor A} - \text{Valor B})}{\text{Valor B}}$$

Donde:

Valor A es el primer valor que se compara.

Valor B es el segundo valor que se compara.

El resultado del comparativo (C) será positivo si Valor A es mayor que Valor B, negativo si Valor A es menor que Valor B, o igual a cero si ambos valores son iguales. Esta fórmula permite cuantificar la diferencia entre los valores y realizar comparaciones numéricas. Es ampliamente utilizado en estadística, análisis financiero, estudios de mercado y otros campos donde se requiere establecer relaciones cuantitativas entre variables.

Procedimiento

Para el iniciar proceso de adaptación de los frenos a disco para el Volkswagen beetle, lo primero que tenemos que tener en cuenta, es que el auto se va a instalar el siguiente kit : **Kit de Conversión a Frenos de Disco Estándar**, ya que cumple con las exigencias a las que va ser sometido el vehículo. Para iniciar se debe realizar es el desmontaje de los neumáticos delanteros y el desmontaje del sistema de frenos original (frenos de tambor), tal como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 1

Desmontaje de neumáticos y sistema de frenos de tambor.



Posteriormente se procede a limpiar las piezas del tren delantero del auto para proceder con la instalación de la placa que será usada para las mordazas de freno:

Figura 2

Limpieza del tren delantero.



Una vez anclada la placa se procede a instalar el disco de freno junto a la mordaza, la cual va a ir sujeta a directamente a dicha placa mencionada.

Figura 3

Colocación de placa y mordaza de freno.



Con estos componentes mencionados anteriormente, se debe cambiar las cañerías de freno y purgación de aire dentro del sistema para su correcto funcionamiento.

Figura 4

Colocación de cañerías de freno nuevas.



Finalmente comprobamos que todo el sistema esté funcionando de manera correcta y no existan fugas del sistema.

Para el proceso de adaptación de los frenos de disco para el Volkswagen Beetle, se tuvo que tomar en cuenta las siguientes variables:

- **Variables Independientes:**

Estas son las variables que se pueden controlar o manipular durante la conversión:

Tipo de sistema de frenos (disco/tambor)

Materiales de los componentes (discos, pinzas, pastillas)

Tamaño de los discos de freno

Calidad de las pastillas de freno

Tipo de líquido de frenos

Configuración del sistema de frenos (ventilados, perforados, ranurados)

Condiciones de instalación (taller, herramientas usadas, técnica aplicada)

- **Variables Dependientes:**

Estas son las variables que se ven afectadas como resultado de la conversión:

Distancia de frenado

Temperatura de los frenos durante el uso

Modulación y sensibilidad del pedal de freno

Durabilidad del sistema de frenos

Costos de mantenimiento y operación

El proceso para la conversión de los frenos de tambor a disco en el vehículo fue un proceso en el que se tuvo que aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera. Para explicar el proceso hay que tomar en cuenta que este se lo realiza posterior a su conversión a motor eléctrico, por lo que se procedió a desmontar el sistema de frenos junto con el desmontaje de motor y caja de cambios, junto con sus cañerías, servofreno y reservorio.

Al tomar en cuenta que se va usar un motor eléctrico había que cambiar de una bomba de freno normal por una eléctrica, se pueden identificar varias variables dependientes e independientes como las siguientes:

- **Variables Independientes:**

Estas son las variables que se pueden controlar o manipular durante el cambio:

Tipo de bomba de freno (normal vs. eléctrica)

Especificaciones de la bomba eléctrica (capacidad, presión, voltaje)

Calidad y marca de la bomba eléctrica

Compatibilidad de la bomba con el sistema de frenos existente

Configuración del sistema eléctrico del vehículo

Condiciones de instalación (herramientas usadas, técnica aplicada)

Configuración del software (si es necesario para la integración de la bomba eléctrica)

- **Variables Dependientes:**

Estas son las variables que se ven afectadas como resultado del cambio:

Eficiencia en la generación de presión de frenado

Respuesta del pedal de freno (sensibilidad y modulación)

Durabilidad y vida útil del sistema de frenos

Tiempo de respuesta del sistema de frenos

Comportamiento del vehículo durante frenadas de emergencia

Al realizar este cambio, el objetivo suele ser mejorar la eficiencia y respuesta del sistema de frenos, así como potencialmente integrar características avanzadas de frenado asistido o automatizado.

También se tomó en cuenta que se necesitaba una placa cuya función sería sujetar las mordazas de freno así que se procedió a adaptar una placa de acero inoxidable 316, la cual se eligió debido a su alta resistencia de corrosión y temperatura, obteniendo así una sujeción más firme para el nuevo sistema adaptado.

Resultados y discusión

- **Vehículo.**

Volkswagen beetle 1600 año 1968

- **Pruebas.**

Con motor de combustión interna y posteriormente con motor eléctrico

- **Localización.**

Quito, Ecuador (2.850 metros sobre el nivel del mar).

Para la instalación del kit elegido y mencionado anteriormente se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- **Potencia de Frenado Mejorada.**

Los frenos de disco ofrecen una capacidad de frenado superior en comparación con los frenos de tambor, especialmente bajo condiciones de alta demanda como en las competencias de 1/4 de milla. Los discos ayudan a disipar el calor de manera más eficiente, lo que reduce el riesgo de desvanecimiento de los frenos y asegura un rendimiento constante durante frenados repetitivos.

- **Rendimiento en Condiciones de Frenado Repetitivo.**

En situaciones de frenado repetitivo, como las que se encuentran en las pruebas y carreras, los frenos de tambor tienden a sobrecalentarse y perder eficacia. Los discos del kit de conversión están diseñados para mantener temperaturas de operación más bajas, lo que mejora la resistencia al desvanecimiento y proporciona una respuesta de frenado más consistente y confiable.

- **Mejor adaptabilidad.**

El kit de conversión es el que mejor se adapta a nuestras necesidades del auto, utilizando herramientas básicas, lo que minimiza el tiempo. Esto es particularmente ventajoso cuando se realizan modificaciones en un entorno de taller, permitiendo una actualización rápida y efectiva sin la necesidad de equipos especializados.

- **Componentes Completos y Compatibilidad.**

El kit incluye todos los componentes necesarios, como discos de freno ventilados, pinzas, pastillas de freno, soportes de pinzas, rodamientos, sellos y herrajes de montaje. Esta integración asegura que todos los elementos trabajen en conjunto de manera óptima, garantizando una mejora significativa en el sistema de frenado. Además, la compatibilidad de los componentes con el sistema existente del vehículo facilita la transición y asegura un ajuste preciso y fiable.

Variables: Adaptar frenos de disco a un auto que originalmente tenía frenos de tambor puede tener varios efectos en otros componentes del vehículo. A continuación, se enumeran algunos de los impactos principales:

- **Sistema de Frenos**

Proporción del Frenado: Es posible que se necesite un ajustador de proporción del freno para balancear la presión entre los frenos delanteros y traseros.

- **Sistema de Dirección**

Eficiencia de Frenado: Mejorar la eficiencia de frenado cambiará la dinámica de dirección del vehículo, especialmente en situaciones de frenado de emergencia.

- **Comportamiento del Vehículo**

Distancia de Frenado: Se espera que los frenos de disco reduzcan la distancia de frenado, mejorando la seguridad.

Desgaste de Neumáticos: Una mayor eficiencia de frenado llevará a un desgaste más rápido de los neumáticos al estar sometidos a gran exigencia la mayoría de tiempo.

Cálculos teóricos: Los resultados obtenidos se basan en dos pruebas realizadas, las cuales se las hicieron con el vehículo totalmente estándar, es decir, con su motor de combustión interna y con su sistema de frenos original (frenos de tambor), y posteriormente las pruebas con su motor eléctrico y con su nuevo sistema de frenos (bomba eléctrica y sistema de frenos de disco), donde se realizó tres pruebas de frenado entre diferentes velocidades, en la cual se pudo notar una clara mejora al sistema de frenos que trae este vehículo originalmente, tomando en cuenta que el vehículo se volvió mucho más potente y también más liviano, estos datos tomados se demuestran en la siguiente tabla:

Tabla 2

Pruebas realizadas en el vehículo

PRUEBAS 20KM/H	ORIGINAL	CONVERSIÓN
Prueba 1	2,29s – 2,40m	1,90s - 2,16m (27,5°C – 64,2°C)
Prueba 2	2,62s – 2,49m	1,11s – 1,83m (43,7°C – 67,9°C)
Prueba 3	2,67s – 2,55m	1,59s – 2,04m (44,1°C – 71,3°C)
PRUEBAS 40KM/H	ORIGINAL	CONVERSIÓN
Prueba 1	3,88s – 3,66m	1,95s – 2,78m (38,2°C – 70,4°C)
Prueba 2	3,93s – 3,87m	2,24s – 2,93m (44,5°C – 76,3°C)
Prueba 3	3,81s – 3,55m	2,08s – 2,91m (49,1°C – 79,8°C)
PRUEBAS 60KM/H	ORIGINAL	CONVERSIÓN
Prueba 1	5,03s – 14,73m	2,56s – 8,78m (47,4°C – 91,5°C)
Prueba 2	4,96s – 14,11m	3,23s – 9,22m (68,3°C – 102,4°C)
Prueba 3	4,89s – 13,97m	2,95s – 9,08m (82,1°C – 116,8°C)

En esta tabla de datos la cual se realizó tomando el tiempo que se demora en frenar el vehículo en las diferentes velocidades seleccionadas, se pudo observar y notar en el manejo un gran cambio y mejora en su sistema de frenado, aparte de que aumento su seguridad y maniobrabilidad al momento de realizar la acción de frenado, se pudo notar una efectividad y mejora general de aproximadamente el 41,88% en comparación a su sistema original, dando como resultados individuales en las pruebas, que en los 20km/h en un 38,37%, en los 40km/h en un 46,05%, y en los 60km/h en un 41,22%.

Este cambio de sistema de frenos de tambor a disco y la incorporación de una bomba de freno eléctrica no solo mejoran la capacidad de frenado del automóvil, sino que también optimizan la capacidad del conductor para controlar y dosificar el frenado de manera precisa y sensible, ya que la respuesta del pedal es más rápida y predecible, mejorando así tanto la seguridad como la experiencia de conducción.

La durabilidad comprometida también se ve influenciada por el uso de materiales especializados que, aunque mejoran el rendimiento, son más susceptibles al desgaste prematuro bajo condiciones de carrera intensas, por lo que esta se verá comprometida a un desgaste prematuro del 50% aproximadamente, ya que es un vehículo el cual va a participar en competencias de $\frac{1}{4}$ de milla, por lo que su funcionamiento estará sometido a la máxima demanda.

Conclusiones

La adaptación del sistema de frenos en este vehículo de categoría M1 representó un desafío técnico que nos exigió aplicar y ampliar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, y una vez realizado el proyecto y todos los análisis necesarios, se puede concluir en que la adaptación ha cumplido con los objetivos establecidos, brindando al vehículo una capacidad de frenado alineada con los estándares de rendimiento necesarios para el ¼ de milla, debido a que esta adaptación aumenta notablemente la seguridad y el control en competencia, posicionando al vehículo en un nivel competitivo superior.

La actualización a un sistema de frenos de disco, en conjunto con una bomba eléctrica, fue esencial para asegurar una frenada eficaz y segura en condiciones extremas de pista, debido a que el sistema de frenos original de tambor, aunque funcional para uso cotidiano, no estaba diseñado para soportar las demandas de alta velocidad y el incremento de potencia que este vehículo alcanzó tras la conversión, obteniendo en los resultados de las pruebas muestran una mejora del 41,88% en la eficiencia de frenado en comparación con el sistema original, lo cual se traduce en una respuesta de frenado más rápida, mayor control, y una distancia de frenado significativamente menor en diversas velocidades, características críticas para competencias.

Finalmente, el nuevo sistema de frenos de disco proporciona una disipación de calor considerablemente superior, lo cual minimiza el riesgo de pérdida de eficacia por sobrecalentamiento, un problema común en los frenos de tambor al ser sometidos a alta carga. Este aspecto resulta fundamental para la estabilidad y rendimiento constante del vehículo durante pruebas intensas. Así, la conversión no solo optimiza la seguridad, sino que también permite al conductor un control más preciso y sensible sobre el frenado, mejorando su maniobrabilidad en la pista.

Bibliografías

Nogales, M. (2024, 14 marzo). Frenos de tambor: qué son y cómo funcionan. Todas las Noticias de Coches En un Solo Portal: Pruebas, Fotos, Vídeos, Informes. . . .
<https://noticias.coches.com/consejos/frenos-de-tambor/405469>

Redondo, M. (2015, 2 noviembre). ¿Cómo funcionan los frenos de disco? Auto Bild España.
<https://www.autobild.es/noticias/como-funcionan-los-frenos-disco-271149>

Colaboradores de Wikipedia. (2024, 27 febrero). Freno de tambor. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Freno_de_tambor

De Expertos, E. M. (2021, 16 diciembre). Tipos de discos de freno. Diferencias y ventajas | Euromaster. Euromaster. Recuperado 2 de junio de 2024, de <https://www.euromaster-neumaticos.es/blog/tipos-disco-frenos-materiales-diseo>

Lo que tenés que saber sobre el líquido de frenos. (2022, 17 octubre). TotalEnergies Argentina.
<https://totalenergies.com.ar/es/cambio-de-aceite/recomendaciones-sobre-liquido-de-frenos/lo-que-tenes-que-saber-sobre-el-liquido-de>

Frenkit. (s. f.). Qué es una bomba de freno o cilindro maestro y para qué sirve. Recuperado 2 de junio de 2024, de <https://blog.frenkit.es/es/que-es-una-bomba-de-freno>

Victor. (2023, 13 julio). Función de la bomba de frenos: ¿Qué es y para qué sirve? HondaMaquina.com. <https://hondamaquina.com/funcion-de-la-bomba-de-frenos-que-es-y-para-que-sirve/>

Bombas de vacío eléctricas. (2018, 20 agosto). HELLA PAGID.
<https://www.hella.com/techworld/mx/ti/Bombas-de-vacio-electricas-10082/>

Mapfre, B. M., & Mapfre, B. M. (2023b, febrero 23). Servofreno, qué es y para qué sirve. Blog Motor MAPFRE. <https://www.motor.mapfre.es/consejos-practicos/consejos-de-conduccion/servofreno-utilidad/>

¿Qué es un vehículo eléctrico y cómo funciona? (s. f.). Ingenieros Top.
<https://ingenierostop.com/articulos/14-%C2%BFQue-es-un-vehiculo-electrico-y-como-funciona?>

House, R. (2020, 26 marzo). Precauciones al cambiar el freno de tambor por el de disco. Road House. <https://www.fmgbrakes.com/roadhouse/cuestiones-que-se-deben-tener-en-cuenta-al-cambiar-el-freno-de-tambor-por-el-de-disco/>

Race. (2023, 10 noviembre). ¿Se pueden cambiar los frenos de tambor por los de disco en un coche? RACE. <https://www.race.es/cambiar-frenos-tambor-disco>

Halderman, J. D. (2016). Automotive brake systems (6th ed.). Pearson.

Limpert, R. (1999). Brake design and safety (2nd ed.). Society of Automotive Engineers.

Erjavec, J. (2015). Automotive brakes (7th ed.). Cengage Learning.

Bosch, R. (2011). Bosch automotive handbook (9th ed.). Bentley Publishers.

Hughes, A. (2019). Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications (5th ed.). Elsevier.

Warner, M. (2011). The electric vehicle conversion handbook. HP Books.

Erjavec, J. (2015). Automotive brakes (7th ed.). Cengage Learning.

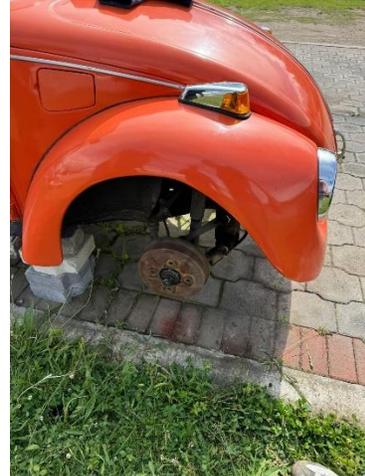
Halderman, J. D. (2018). Automotive technology: Principles, diagnosis, and service (6th ed.). Pearson.

Hadinger, A. (2003). Volkswagen Beetle: A comprehensive guide to restoring the Beetle to its original specifications. Motorbooks International.

Anexos

Anexo 1.

Desmontaje de llanta para acceso al freno de tambor.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 2.

Desmontaje y desconexión de cañerías del sistema de frenos.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 3.

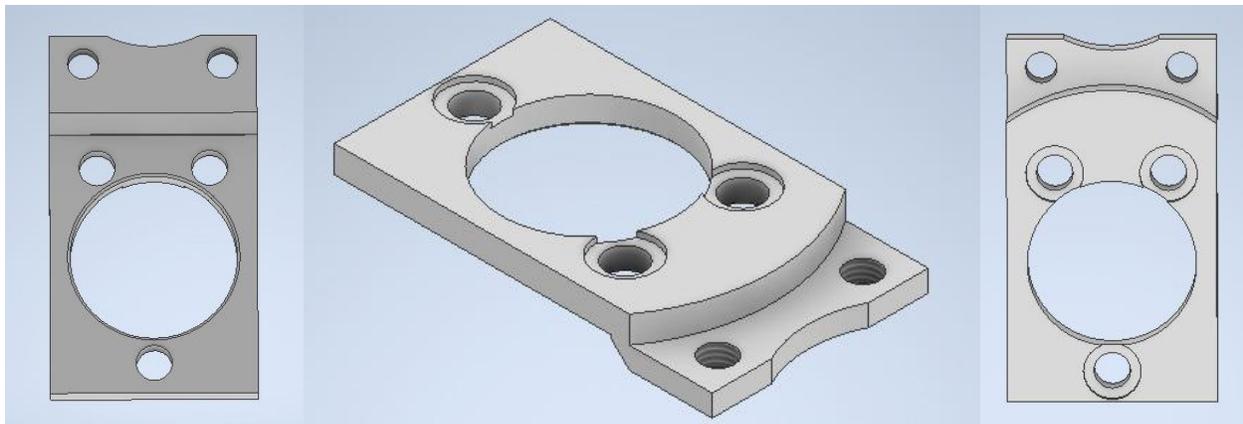
Limpieza y mantenimiento de los componentes de tren de arrastre delantero, para la toma de medidas del adaptador.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 4.

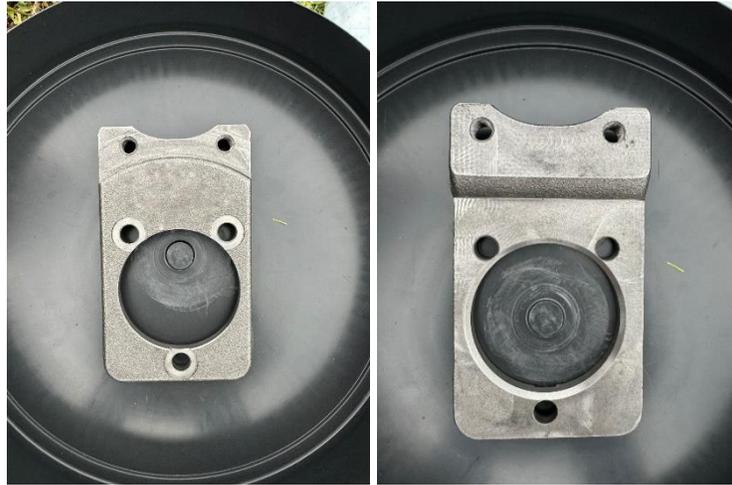
Diseño del adaptador de la plancha para la sujeción de las mordazas de los frenos de disco, realizadas en el software Autodesk Inventor.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 5.

Fabricación de las planchas para la sujeción de las mordazas de los frenos de disco en acero.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 6.

Adquisición del juego de rodamientos, par de cañerías para el sistema de frenos con su respectivo disco y mordaza.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 7.

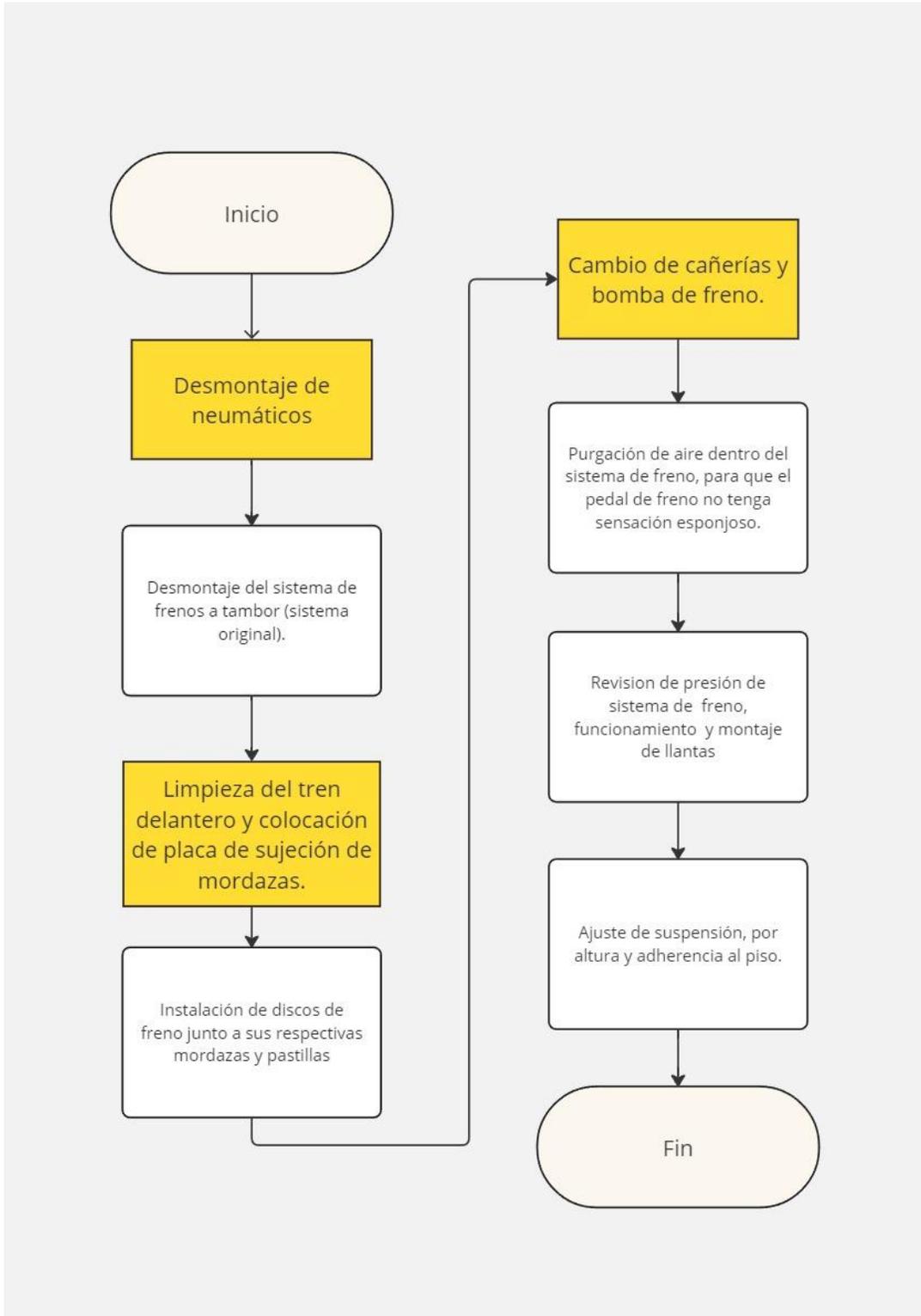
Montaje de la plancha a medida, disco, mordaza y cañerías del nuevo sistema de frenado.



Fuente. (Autores, 2024)

Anexo 8.

Flujograma del proceso de instalación.



Fuente. (Autores, 2024)