



ING. AUTOMOTRIZ

**Trabajo integración Curricular previa a la
obtención del título de Ingeniero en Automotriz.**

AUTORES:

Sebastián Alejandro Amores Basantes

Edmundo Andrés Ocaña García

TUTORES:

Ing. Denny Javier Guanuche Larco

PhD. (c) Gorky Reyes Campaña

Análisis del punto plástico de líquido de frenos en
vehículos de categoría L3 en tiempos
preestablecidos

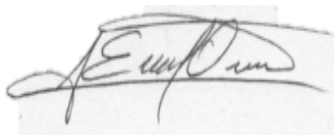
Certificación

Nosotros, Sebastián Alejandro Amores Basantes y Edmundo Andrés Ocaña García 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, reglamento y leyes.



Sebastián Alejandro Amores Basantes



Edmundo Andrés Ocaña García

Certificación

Yo, Gorky Guillermo Reyes Campaña, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



PhD. (c) Gorky Reyes Campaña

Agradecimiento

Al finalizar este proyecto quiera dar primeramente dar las gracias a Dios por todas las bendiciones que nos ha regalado a lo largo de nuestra vida hasta llegar a esta instancia tan importante en nuestras vidas.

Agradezco a mis padres por todo el esfuerzo y sudor que han derramado para verme cumplir mis objetivos, por haber sido un apoyo incondicional, por haberme enseñado sobre todo a ser buena persona y por haberme inculcado todos los valores que me han llevado a crecer tanto como persona como en mi vida académica y profesional; no hay palabras para agradecer todo lo que ustedes han hecho por mí y no me alcanzará la vida para devolverles todas esas alegrías que me han regalado. Agradezco también a mis hermanas que al igual que mis padres han sido un apoyo incondicional durante toda mi vida, por todo el apoyo que me han brindado en esta etapa, por sus consejos, su amor y su paciencia. Agradezco también a Sebastián Amores por haber sido un amigo incondicional desde que nos conocimos en la Universidad.

Gracias a la Universidad Internacional del Ecuador por el apoyo económico que me brindó a lo largo de toda la carrera, apoyo que me inspiró a esforzarme día a día por cumplir este objetivo. Finalmente quiero agradecer a nuestros tutores, Denny Guanuche y Gorky Reyes que no solo nos acompañaron en esta última etapa si no que fueron un apoyo para nosotros durante toda la carrera siendo para nosotros no solamente ejemplos como profesionales, sino como personas.

Edmundo Ocaña

Manifiesto mi agradecimiento a mis padres por cumplir con excelencia la labor de educar a sus hijos con ejemplo y motivación para cumplir con nuestros objetivos, a mi hermana por ser mi motor a lo largo de esta etapa que ha tenido sus altos y bajos, a mi abuelito Hugo que nunca ha sabido decirme que no, pero dejándome claro la importancia de hacer las cosas bien. A mi tía Marcela por hacer de confidente muchas veces y por estar siempre pendiente de mí. A mi abuelita Olga por demostrarme que la edad solo es un número y que las ganas de trabajar y disfrutar la vida hay que tenerlas siempre. A la querida Narci por formar parte de mi infancia y estar presente en cada etapa de mi formación como estudiante y verme como profesional. A mis compañeros con quienes compartimos conocimiento y momentos inolvidables en esta etapa, a Edmundo Ocaña por ser ese amigo desde el primer día de clase y ahora un hermano con quien hicimos posible que este proyecto culmine con éxito. Quiero agradecer a nuestros tutores Ing. Gorky Reyes y el Ing. Denny Guanuche por entregar su conocimiento y voluntad en la formación profesional y el cumplimiento de este trabajo. De manera especial agradezco al Ing. Darío Galarraga por ser una excelente amigo, mentor y guía que me impulso como profesional y como persona, a quien espero que desde el cielo vea como retribuiré todo lo que hizo por mí.

Sebastián Amores

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico principalmente a mis padres que me han acompañado durante todo este proceso, quienes me aconsejaron de la mejor manera posible para llegar a este momento y estuvieron a mi lado buscando los mejores caminos para que este alcance esta instancia. Gracias a ustedes he podido convertirme en la persona que soy ahora. Los principios y valores que me inculcaron desde niño, la responsabilidad, perseverancia, respeto los llevaré siempre conmigo y me llevaran a alcanzar todas las metas que me proponga.

Dedico también este trabajo hermanas que al igual que mis padres me apoyaron durante todo este proceso, por su paciencia en aquellos momentos en los que mi humor no era el mejor y sobre todo por los consejos que me dieron para avanzar de la mejor manera al haber pasado ellas ya por estas instancias.

Esto también va dedicado a Dios que me dio una hermosa familia, unida en todo momento, que ha llenado mi vida de alegría y que espero que puedan seguirme acompañando en las nuevas etapas de mi vida que se avecinan.

Aunque ya no esté aquí dedico también este logro a mi mascota Bingo que estuvo junto a mí desde mi niñez siendo un soporte emocional fundamental en mi vida.

Edmundo Ocaña

El esfuerzo de este proyecto va dedicado a mi familia por su esfuerzo y apoyo incondicional desde el momento en que elegí esta carrera, a mis padres quienes me han sabido guiar con su cariño y sabiduría para cumplir mis objetivos, a mi hermana quien siempre me ha motivado a dar lo mejor y ser un ejemplo para ella, a mis tíos, primos, y de manera muy especial a mis abuelos quienes han sido un soporte y fuente de inspiración a lo largo de esta etapa para obtener este título profesional, los seguiré llenando de orgullo a todos ustedes hoy y siempre.

Sebastián Amores

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 8 |
| Introducción | 10 |
| Marco Teórico..... | 12 |
| Materiales..... | 16 |
| Resultados y discusión..... | 19 |
| Conclusiones | 28 |
| Referencias..... | 29 |
| Anexos | 32 |
| Anexos Materiales y Métodos | 32 |
| Anexo 1. Modelos de motocicletas obtenidas previo a la definición de características específicas | 32 |
| Anexo 2. Evidencia fotográfica de motocicletas elegidas para la obtención de muestras | 32 |
| Anexos Resultados y Discusión..... | 34 |
| Anexo 3. Pruebas punto de ebullición con equipo BOSCH BFT100..... | 34 |
| Anexo 4. Pruebas porcentaje de humedad..... | 36 |
| Anexo 5. Fórmula de repetibilidad y error de medida | 38 |
| Anexo 6. Cálculo repetibilidad y error de medida del punto de ebullición..... | 38 |
| Anexo 7. Cálculo repetibilidad y error de medida del porcentaje de humedad..... | 38 |
| Anexo 8. Incremento de 10 ml de líquido de frenos nuevo en muestras por debajo del punto de ebullición húmedo | 39 |
| Anexo 9. Pruebas punto de ebullición con 10 ml de líquido de frenos nuevo incrementado..... | 40 |
| Anexo 10. Pruebas porcentaje de humedad con 10 ml de líquido de frenos nuevo incrementado..... | 41 |
| Anexo 11. Prueba punto de ebullición laboratorio QUALCO..... | 42 |

ANÁLISIS DEL PUNTO PLÁSTICO DE LÍQUIDO DE FRENOS EN VEHÍCULOS CATEGORÍA L3 EN TIEMPOS PREESTABLECIDOS

Ing. Denny Guanuche L. MSc¹, PhD. (c) Gorky Reyes C², Sebastián Amores B.³, Edmundo Ocaña G.⁴

¹ Universidad Internacional del Ecuador, Docente, Coordinador prácticas comunitarias de la Escuela de Ingeniería Automotriz, deguanuchela@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

² Universidad Internacional del Ecuador, Docente investigador, Coordinador de investigación de la Escuela de Ingeniería Automotriz, gureyesca@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

³ Estudiante de Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, seamoresba@uide.edu.ec, Quito - Ecuador

⁴ Estudiante de Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, edocanaga@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Resumen

Introducción: El líquido de frenos se constituye como el elemento del sistema de frenado con menor prioridad al realizar mantenimientos, sin embargo, es clave en la seguridad que ofrece el sistema en situaciones de emergencia. Estudios previos han analizado el desgaste del líquido de frenos enfocados hacia vehículos de categoría M1, el presente estudio se centra en el análisis del líquido de frenos en vehículos categoría L3 de acuerdo a tiempos y kilometrajes preestablecidos, en función del análisis de dos propiedades del líquido esenciales, estas son el punto de ebullición y porcentaje de humedad. **Metodología:** Para el análisis se tomaron 6 muestras de líquido categoría DOT 4 pertenecientes a motocicletas de distintas procedencias incluidas entre las marcas más comercializadas del Ecuador para las cuales se utilizó 3 equipos de medición, GD-F 8063, BOSCH BTF100 y Duoyi DY23B, basándose en las normativas ASTM D110 y FMVSS116. En cada muestra se realizó 3 mediciones para las dos propiedades en análisis, obteniendo un promedio de medición validado por un análisis estadístico ANOVA. **Resultados:** Se determinó que el líquido de frenos llega a su punto plástico superando los 17000 km, en donde su punto de ebullición es menor a 155°C con un porcentaje de humedad superior al 3%. **Conclusiones:** Se estableció que el desgaste del líquido depende en mayor medida del kilometraje recorrido que de la antigüedad del mismo. Además, el incrementar líquido de frenos nuevo no presenta un beneficio ya que las propiedades del líquido no sufren una mejora significativa que ayuden a alargar su vida útil.

Palabras clave: Líquido de frenos, DOT 4, vehículos categoría L3, punto de ebullición, porcentaje de humedad

Abstract

Introduction: Brake fluid is the element of the braking system with the lowest priority when performing maintenance, however, it is key to the security offered by the system in emergency situations. Previous studies have analyzed the wear of brake fluid focused on M1 category vehicles, this study focuses on the analysis of brake fluid in L3 category vehicles according to pre-established times and mileage, based on the analysis of two properties of the fluid. essential, these are the boiling point and percentage of humidity. **Methodology:** For the analysis, six samples of DOT 4 category liquid belonging to motorcycles of different origins included among the most commercialized brands in Ecuador were taken for which three measuring equipment were brought, GD-F 8063, BOSCH BTF100 and Duoyi DY23B, extremes in ASTM D110 regulations. and FMVSS116. In each sample, three measurements were made for the two properties under analysis, obtaining an average measurement validated by an ANOVA statistical analysis. **Results:** It can be seen that the brake fluid reaches its plastic point surpassing 17000 km, where its boiling point is less than 155°C with a humidity percentage higher than 3%. **Conclusions:** It was established that the wear of the liquid depends to a greater extent on the mileage traveled than on its age. In addition, increasing new brake fluid does not present a benefit since the properties of the fluid do not undergo a significant improvement that helps to extend its useful life.

Keywords: Brake fluid, DOT 4, category L3 vehicles, boiling point, moisture percentage

Introducción

En un vehículo existen diversos sistemas que en conjunto brindan seguridad y comodidad a sus ocupantes, uno de los más importantes es el sistema de frenado, el cual tiene como propósito detener la marcha del mismo de acuerdo al requerimiento del conductor de una manera eficiente. A su vez en el sistema de frenado, un componente fundamental al cual no se le presta la atención debida, es el líquido de frenos. Con el paso del tiempo y kilometraje recorrido el líquido de frenos va perdiendo sus propiedades fisicoquímicas y debido a su característica higroscópica absorbe humedad disminuyendo su punto de ebullición hasta llegar al punto plástico, lo cual compromete la eficiencia de frenado. El grado de desgaste en el líquido o alteración de sus propiedades fisicoquímicas, a su vez se ve influenciado por la composición del mismo definida por cada fabricante. Si bien esta característica ha sido estudiada previamente, solo se ha tomado en consideración vehículos categoría M1, por ello el presente estudio se enfoca hacia vehículos categoría L3, que en los últimos años han ido aumentando su participación en el mercado, esto principalmente debido a la crisis sanitaria que se vivió a nivel mundial desde el año 2020 por la aparición del COVID-19. La pandemia trajo consigo una mayor tasa de desempleo y con ella una fuerte crisis económica por lo que mucha gente optó por cambiar automóviles por motocicletas por ser un medio de transporte más económico. Esto se ve reflejado en la cantidad de ventas de motocicletas, que según (Coba, 2020) para junio del 2020 incrementaron en un 25% en comparación al 2019, y este incremento en las ventas se mantiene ya que en el año 2020 se vendieron 130483 unidades (Baldeón et al., 2020) y en el 2021 la cifra ascendió a 165701 (Baldeón et al., 2021) presentando un incremento de ventas del 27%.

El presente estudio se centra en el análisis del estado del líquido de frenos en función del punto de ebullición del mismo, tomando en cuenta diferentes modelos de motocicletas comercializadas en Ecuador, en las que el líquido de frenos presente un grado de desgaste de acuerdo a tiempos preestablecidos. Además, con un análisis de la cantidad de humedad absorbida por el líquido de frenos debido a su uso y contacto con el ambiente se determina su relación con respecto a la disminución del punto de ebullición del líquido. Con una comparativa de estos resultados se establece una relación entre el punto de ebullición, la humedad absorbida y el estado del líquido de frenos según el kilometraje recorrido y el tiempo transcurrido.

De acuerdo a Evtiukov como se citó en (Podoprighora et al., 2018), uno de cada tres accidentes de tránsito tiene su origen en fallas del sistema de frenado del vehículo. Actualmente diversos instrumentos son empleados para la medición del estado del sistema de frenado en las revisiones técnicas vehiculares, sin embargo, los mismos se enfocan en el control del estado de los elementos friccionantes como lo son los discos, pastillas, y zapatas de freno, mas no en una evaluación global de todo el sistema dejando de lado otras características del sistema que cambian durante la operación del vehículo, como lo es el líquido de frenos (Podoprighora et al., 2018).

Conforme al aumento de requerimientos de seguridad en los vehículos, también se hace necesario el uso de fluidos de alto desempeño cuyas características aseguren un correcto funcionamiento de los distintos sistemas. Básicamente el líquido de frenos es una solución de etilenglicol y poli glicoles, acompañada por lubricantes, e inhibidores de corrosión. Comúnmente el líquido de frenos se conforma por un 70 a 80% de líquido base, a esto se le adiciona entre un 20 y 30% de lubricantes y entre un 1 y 5% de aditivos que protegen al metal de la corrosión (Wójcik, 2019)

Debido al paso del tiempo y al uso, el líquido de frenos va cambiando sus propiedades como lo es su viscosidad, sus propiedades lubricantes, anticorrosivas y principalmente su punto de ebullición, el cual se ve afectado debido a la característica higroscópica del líquido, es decir la facilidad que tiene para absorber humedad (Skrucany et al., 2016). Esta

característica se manifiesta debido al componente principal del líquido de frenos, es decir el etilenglicol que por su estructura molecular (O-H), se ve atraído por la humedad presente en el ambiente(Mitchell et al., 2006).

El presente artículo se enfocó en el análisis del punto plástico de distintos líquidos de frenos empleados en varios modelos de vehículos pertenecientes a la categoría L3 teniendo en consideración diversos orígenes, para ello se obtuvo una muestra del fluido de cada una de las motocicletas en análisis para efectuar la medición de esta característica física de acuerdo a tiempos preestablecidos por los fabricantes en sus planes de mantenimiento para el reemplazo del líquido.

Marco Teórico

Antecedentes

En países en subdesarrollados como lo es Ecuador las motocicletas son cada vez más empleadas como medio de transporte, debido a las ventajas que presentan frente a automóviles. A nivel global se encuentran circulando más de 313 millones de motocicletas, de las cuales el 77% circulan en Asia, el 16% en Europa y Norteamérica, el 5% en América Latina, y un 2% en el resto del mundo, sin embargo, el aumento de ventas de motocicletas en nuestro continente se está dando de manera acelerada debido a una combinación de factores que la ubican como uno de los medios de transporte más beneficiosos (Rodríguez et al., 2015). Una de las principales causas del incremento de uso de motocicletas se debe a la posibilidad que ofrecen para evitar largas filas de automóviles en zonas congestionadas, así, no solo se constituyen en una alternativa para el transporte personal, sino que las mismas en los últimos tiempos han ido incursionando como un reemplazo para medios de transporte público (Sosa et al., 2013). Es debido al deficiente sistema de transporte público que cerca del 65% de usuarios que lo usaban han optado por reemplazarlo por motocicletas (Rodríguez et al., 2015). Otra de las razones que explican el incremento del parque de motocicletas es su mayor eficiencia energética en comparación a los automóviles que en conjunto con sus bajos costos de mantenimiento y operación han logrado captar la atención de un gran público (Sosa et al., 2013), en especial después de la pandemia ocasionada por el COVID-19 que tuvo un fuerte impacto sobre la economía.

Sistemas de seguridad

La seguridad en la conducción depende de distintos factores como lo es el factor humano, el vehículo y la vía; en ese sentido la seguridad activa y pasiva hacen referencia al vehículo y los sistemas de seguridad con los que cuenta (Rodríguez et al., 2022). La seguridad activa se atribuye a aquellos mecanismos destinados a reducir los riesgos durante la conducción del vehículo en donde el conductor interviene directamente sobre ellos, es decir se enfoca en la prevención de accidentes (Ferro, 2021); por otro lado, la seguridad pasiva se enfoca a los mecanismos que tienen como finalidad disminuir los efectos de un accidente sobre los pasajeros, es decir actúan en cuanto se ha producido un siniestro. En este grupo se incluyen una serie de dispositivos que, si bien en la actualidad son de carácter obligatorio, su implementación se ha dado paulatinamente (Rodríguez et al., 2022). En los vehículos de categoría L3 se han adaptado los sistemas de seguridad activa y pasiva en función de sus requerimientos, así, comparten elementos con automóviles e implementan sistemas propios de motocicletas como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Sistemas de seguridad activa y pasiva en vehículos categoría L3

| Seguridad Activa | Seguridad Pasiva |
|--|-------------------------|
| Sistema de frenos | Casco |
| Dirección | Guantes |
| Suspensión | Botas |
| Control de estabilidad (MSC) | Traje de conducción |
| Ajuste electrónico de suspensión (ESA) | Protectores de cuerpo |

Fuente. Autores

Sistema de frenado

Todo vehículo debe disponer de un sistema capaz de detener su movimiento e inmovilizarlo al encontrarse detenido. Como indican (Domínguez & Ferrer, 2012a) de acuerdo al reglamento n°13 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, encargada de regular la homologación de vehículos, se define al sistema de frenado como el conjunto de dispositivos destinados a reducir gradualmente la velocidad de un vehículo y forzar su detención en el menor tiempo posible. El principio de funcionamiento del sistema se basa en el rozamiento generado al entrar en contacto una superficie fija con una superficie móvil, transformando de esta manera la energía absorbida en calor que se disipa a la atmósfera. En base a esto el sistema de frenado debe cumplir ciertas características como lo son la eficacia, que permite frenar en distancias cortas con un bajo esfuerzo, estabilidad para que el vehículo mantenga su trayectoria, y comodidad evitando vibraciones y ruidos (Bauzá, 2018).

En esencia el sistema de frenado consta de 3 subsistemas principales, como lo son el mando, la transmisión y el dispositivo de freno. El mando hace referencia a la pieza que acciona el conductor la cual proporciona a la transmisión la suficiente energía para frenarla. La transmisión consta de todos los elementos ubicados entre mando y el dispositivo de freno sobre el cual se aplican las fuerzas opuestas al movimiento (Domínguez & Ferrer, 2012a).

Sistema de frenado en motocicletas

Como en todo vehículo el sistema de frenado debe asegurar su funcionamiento en perfectas condiciones para garantizar la seguridad al conducir; en el caso de las motocicletas su sistema de frenos tiene una proporción de frenado de 70% para el freno delantero y 30% en el freno trasero (Berja, 2020). Esta proporción se da en función del peso que soporta la motocicleta, debido a la transferencia de carga que ocurre al frenar del eje trasero al delantero, es por eso que el control de frenado se enfoca en este eje siendo los frenos delanteros de mayor tamaño, sin embargo, es el conductor el encargado de dosificar la distribución de frenado para que esta sea proporcional controlando los fenómenos como el hundimiento o “squat” generados al acelerar y frenar (Vélez, 2016). Los mecanismos de frenados en motocicletas han ido cambiando con el tiempo, empezando por frenos de cuchara y frenos de tambor empleados aún en la actualidad, su accionamiento es con cables mecánicos o varillaje. En los años 70 las motocicletas empezaron a incorporar los frenos de disco principalmente en las ruedas delanteras y posteriormente en las ruedas traseras, mejorando la potencia de frenado considerablemente por la mejor disipación de calor.

Figura 1.

Tipo de frenos montados en motocicletas



Nota. Adaptado de *MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS DE MOTOCICLETAS* (p.49-50), por (Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP, 2008).

Los componentes del sistema de frenado de las motos comparten elementos de los automóviles como cañerías, bomba de freno, mordazas, pastillas y el líquido hidráulico de

frenos que se acciona desde la maneta para la rueda delantera o desde el pedal para la rueda trasera (Berja, 2020). Actualmente los sistemas de frenado de motocicletas cuentan con ayudas electrónicas que permiten mejorar la estabilidad y control en la trayectoria del vehículo en situaciones de emergencia evitando el bloqueo de las ruedas gracias al sistema ABS controlado por un módulo electrónico que actúa en función de los datos recolectados por sensores de velocidad (Reif, 2014).

Líquido de frenos

El líquido de frenos cumple un papel fundamental en la seguridad vehicular ya que transmite la potencia desde el pedal hasta el pistón o bombines y a su vez a los elementos friccionantes para activar de esta manera el sistema de frenado de una manera suave, rápida y segura (Bako et al., 2019). El líquido de frenos al igual que todos los fluidos es incompresible, por lo que transmite la fuerza instantáneamente a los elementos friccionantes. Las normas de fabricación y estándares de calidad de los líquidos de frenos vienen dadas por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT), así los líquidos de frenos poseen una identificación de acuerdo a su uso y aplicación dada por esta entidad reguladora (Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP, 2008). En motocicletas se comercializan principalmente dos tipos de líquido de frenos como lo son el DOT3 y DOT 4, los cuales presentan distintas características fisicoquímicas definidas en base a normas establecidas internacionalmente como lo es la FMVS116 o la SAE J 1703.

Tabla 2

Características fisicoquímicas del líquido de frenos

| Estándar de pruebas | | |
|--|--------------|--------------|
| Tipo de líquido | DOT 3 | DOT 4 |
| Punto de ebullición seco mínimo °C | 205 | 230 |
| Punto de ebullición húmedo mínimo °C | 140 | 155 |
| Viscosidad cSt a -40°C | 1500 | 1500 |
| Viscosidad cSt a 100°C | 1.5 | 1.6-2.5 |
| pH | 7-11.5 | 7-11.5 |
| Aumento de tamaño de sellos | 0.055 pulg | 0.055 pulg |
| Porcentaje de agua por volumen líquido nuevo | 0.1% | 0.1% |
| Porcentaje de agua máximo tolerable | 3% | 3% |

Nota. Adaptado de (Reif, 2014b), (LIQUI MOLY, 2018), (Sejkorová et al., 2018)

Una de las características más importantes del líquido de frenos, que permite determinar su condición es el punto de ebullición, del cual se diferencia el punto de ebullición seco que hace referencia al índice de resistencia del líquido frente al estrés térmico, y el punto de ebullición húmedo, referente al punto de ebullición seco afectado por la absorción de agua del líquido por su característica higroscópica derivada de sus elementos constituyentes, como lo es el etilenglicol y poli glicoles, que por estructura molecular (O-H) facilitan la formación de enlaces de hidrógeno con otras hidro moléculas presentes en el ambiente. Para medir el punto de ebullición se debe tener en cuenta variaciones de factores externos como lo es la presión atmosférica, así el punto de ebullición variará de acuerdo a las características atmosféricas del lugar. Como indica (Ott et al., 2008), para determinar la variación en el punto de ebullición del lugar en que se realiza la medición en comparación a condiciones atmosféricas estándar se aplica la ecuación de Sydney Young para obtener lecturas precisas.

$$C_c = 0.000095(760 - P)(273 + t_c) \quad [\text{Ec.1}]$$

En donde

t_c es la temperatura observada

C_c es la corrección a la temperatura observada

P es la presión barométrica actual en mmHg

Esta corrección se suma a la temperatura observada en caso de que la presión barométrica sea menor a 760 mmHg, y se resta si es superior a este valor, como indica la ecuación 2.

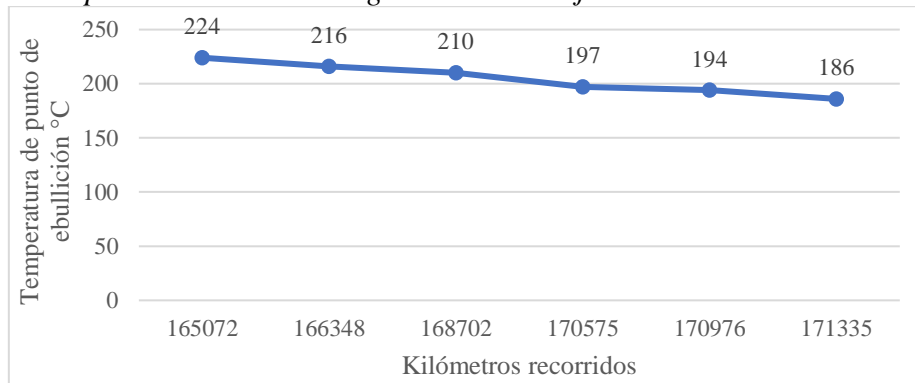
$$T = t_c \pm C_c \quad [\text{Ec.2}]$$

Vida útil del líquido de frenos

Para llevar un correcto control del líquido de frenos es importante la inspección periódica del mismo, ya sea mediante la revisión del nivel, el color, y la sensación en el pedal al frenar. Con el paso del tiempo y el uso del líquido, va perdiendo sus propiedades anticorrosivas; esto en conjunto con la absorción de humedad provocan la corrosión del sistema el cual al contaminarse cambia el color del líquido a tonos marrones, un indicativo de su desgaste. Diversas fuentes como lo son manuales de fabricantes y fuentes bibliográficas como (Domínguez & Ferrer, 2012b) y (Reif, 2014c) coinciden en que el líquido de frenos posee una vida útil promedio de 2 años, misma que depende de las condiciones de operación del vehículo y del ambiente en el cual se encuentre circulando. Por otro lado (Hero MotoCorp, 2019) indica que el líquido debe reemplazarse cada dos años o 30000 km, tomando en consideración la condición que se cumpla antes, ya sea el kilometraje o tiempo.

Figura 2.

Disminución del punto de ebullición según el kilometraje recorrido



Nota. Adaptado de “*INFLUENCE OF VEHICLE OPERATION ON THE BRAKE FLUID BOILING POINT*” por (Skrucany et al., 2016)

Materiales y métodos

La presente investigación se basa en un enfoque cuantitativo, que tiene por finalidad la obtención de conocimientos esenciales que permitan mirar la realidad de una forma imparcial, debido a que se basa en la recolección y análisis estructurado de datos recogidos de diversas fuentes, lo cual involucra la utilización de herramientas estadísticas, informáticas y matemáticas para la obtención de resultados (Neil & Cortez, 2018). En base a esta premisa el estudio se enfoca en la recolección de datos estructurados referentes a las características esenciales del líquido de frenos como lo es su punto de ebullición y porcentaje de humedad con respecto al kilometraje recorrido y tiempo transcurrido, los cuales se validaron a través de un análisis estadístico basado en el método de varianza de un factor o One Way ANOVA. En cuanto al tipo de estudio a ser empleado se tomó como referencia el estudio descriptivo interpretativo. Como indica Carlos Sabino en (Guevara et al., 2020), se define a la investigación descriptiva como aquella encargada de especificar características propias de grupos uniformes de fenómenos a través del uso de criterios metódicos que facilitan la determinación del comportamiento de los fenómenos que se están estudiando. Por otro lado, la investigación interpretativa está orientada al establecimiento de patrones que ayuden a comprender el significado del comportamiento de los objetos en estudio, para ello hace uso de una diversidad de instrumentos y técnicas para recolectar información (Teixidó, 2000). De esta manera se relaciona este tipo de estudio a la investigación del comportamiento del líquido de frenos en función del análisis de una categoría específica del mismo, de manera que las variables tomadas en consideración cumplan un mismo estándar que permita determinar las características a través de métodos uniformes. Es así que se ha tomado como líquido de referencia al DOT 4 ya que actualmente es el líquido más utilizado debido a sus prestaciones con respecto al DOT 3, de acuerdo a diversas fuentes como lo son servicios autorizados de marcas de origen japonés, hindú y chino. Finalmente se utilizó la herramienta comparativa para confrontar los resultados obtenidos. Este instrumento consiste en la comparación de objetos de estudio que, por lo general, es aplicado para llegar a generalizaciones empíricas y a la comprobación de hipótesis (Nohter, 2020). El enfoque se orienta a la toma de muestras del líquido de frenos en distintos estados de degradación de acuerdo a kilometrajes establecidos con lo que se obtuvo resultados que permitieron establecer una comparación entre la disminución del punto de ebullición y el incremento del porcentaje de humedad.

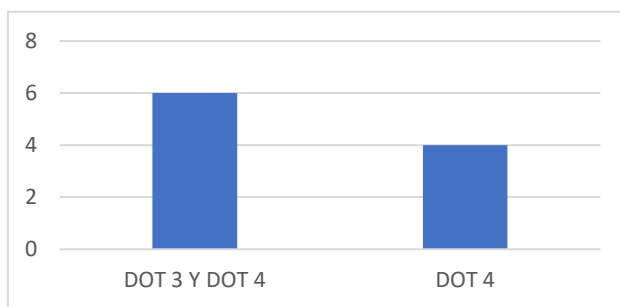
Materiales

Líquido de frenos

En la actualidad se comercializan esencialmente cuatro categorías de líquido de frenos como lo son DOT 3, DOT4, DOT 5 y DOT 5.1, sin embargo, comercialmente los líquidos más comunes de acuerdo a (Wójcik, 2019) son DOT 3 y DOT 4 ya que el líquido de frenos DOT 5.1 se emplea mayormente en vehículos de alto rendimiento o en competencia, y por otro lado el DOT 5 posee una base sintética que lo hace incompatible con otros líquidos, por lo tanto, su uso es poco común. Para la determinación del líquido de frenos a emplear se realizó una investigación previa en la que se obtuvieron los siguientes datos de líquido de frenos empleados por 10 diferentes vehículos categoría L3 de distintas marcas comercializadas en el país.

Figura 3.

Tipo de líquido de frenos empleado por motocicletas de distintas marcas



Nota. Revisar anexo 1 y anexo 2 referentes a los modelos de motocicletas tomados en consideración en la definición del líquido de frenos a ser analizado. Elaborado por: Autores

Vehículo

En el presente estudio se han tomado en consideración vehículos categoría L3 provenientes de diversos orígenes pertenecientes a las 15 marcas más comercializadas en el país, esto con el fin de poder establecer una comparación basada entre distintas motocicletas con fuerte presencia en el mercado. En la tabla se especifican los modelos y kilometrajes de las motocicletas tomadas en consideración.

Tabla 3.

Modelos de vehículos empleados para la obtención de muestras

| Vehículo | Año | Kilometraje |
|----------|------|-------------|
| LX1 | 2022 | 4125 km |
| SCh2 | 2021 | 10573 km |
| BjP3 | 2020 | 16871 km |
| SzV4 | 2020 | 22168 km |
| YSZ5 | 2020 | 25531 km |
| TKCR6 | 2022 | 30687 km |

Fuente. Autores

Los kilometrajes elegidos se basan en las indicaciones de los fabricantes, de acuerdo al periodo de cambio del líquido de frenos recomendado por los mismos, es decir cada 2 años. Por lo tanto, se efectuó un análisis del líquido aproximadamente cada 5000 km de recorrido, tomando en cuenta que en promedio se recorren alrededor de 15000 km anuales.

Normativa

Para llevar a cabo las pruebas del líquido de frenos se empleó esencialmente dos normativas, por un lado, se consideró la normativa ASTM D1120 que abarca la determinación del punto de ebullición de equilibrio de refrigerantes de motor y líquidos de freno contemplada en la norma ecuatoriana NTE INEN 44; este punto de ebullición hace referencia a la temperatura a la cual la muestra cambia de estado en condiciones de equilibrio a presión atmosférica. La segunda normativa tomada en consideración es la FMVSS116 de la cual se tomó un extracto referente a las condiciones mínimas que debe cumplir el líquido de frenos para considerarse seguro. La tabla 4 indica las características requeridas para cumplir con la normativa ASTM D1120

Tabla 4.*Características de la norma ASTM D1120*

| Característica | Especificación |
|-----------------------|--|
| Herramientas | Matraz de vidrio resistente al calor de 100ml, un condensador de tubo de vidrio enfriado por agua con una camisa de 200mm de largo, 3 o 4 piedras de ebullición, termómetro de inmersión parcial con rango de -5 a 300°C, y una fuente de calor eléctrica |
| Muestra | Se requiere una muestra de 60ml a temperatura ambiente (20°C) |
| Procedimiento | La medición se lleva a cabo calentando el condensador a una velocidad en la que la muestra alcance el punto de ebullición en 15 minutos. Se reduce gradualmente el aporte de calor hasta que se logre la tasa de reflujo deseada. La tasa de reflujo se ajusta en los próximos diez minutos a 1 o 2 gotas por segundo. La tasa de reflujo adecuada debe mantenerse por dos minutos antes de leer la temperatura; finalmente se registra la temperatura y presión barométrica |

Nota. Adaptado de (ASTM INTERNATIONAL, 2004)

La tabla 5 muestra las características de la normativa FMVSS116 referentes a los requerimientos mínimos de operación para líquidos de frenos categoría DOT 4.

Tabla 5.*Características norma FMVSS116 para líquidos categoría DOT 4*

| Característica | Especificación |
|-----------------------|---|
| Alcance | Establece los requerimientos para fluidos empleados en sistemas hidráulicos de vehículos motorizados, el empaquetado y etiqueta de los mismos cuyo objetivo es reducir la probabilidad de fallas en dichos sistemas y aplica a vehículos de pasajeros, camiones, buses y motocicletas |
| Requerimientos | De acuerdo a la normativa el punto de ebullición de equilibrio para líquidos de freno categoría DOT 4 no puede ser inferior a 230°C, el punto de ebullición húmedo no puede ser inferior a 155°C y la cantidad de agua presente en el líquido nuevo no puede ser superior a 0.1% del volumen total. |

Nota. Adaptado de (Code of Federal Regulations, 2004)

Equipos de medición

Para efectuar las mediciones en los distintos líquidos de frenos serán empleados 3 equipos, 2 de ellos destinados a la medición del punto de ebullición del líquido de frenos y uno para la medición de porcentaje de humedad.

Tabla 6.

Equipos de medición de punto de ebullición y humedad de líquido de frenos

| Equipo | Característica medida | Magnitud | Rango medición | Precisión |
|--|--|-----------------|-----------------------|-----------------------------|
| GD-F 8063 Engine Coolants Boiling Point Tester | Punto de ebullición en base a norma ASTM D1120 | °C | N/A | N/A |
| Bosch BFT100 | Punto de ebullición | °C | N/A | 100-180°C: 3% >180°C: 5% |
| Duoyi DY23B | Humedad presente en líquido de frenos | % de humedad | 0.1-4% | N/A |

Fuente. Autores

Resultados y discusión

Protocolo de medición

Para la toma de muestras se realizó un cambio de líquido de frenos total en todas las motocicletas en estudio, extrayendo el líquido de frenos presente tanto en el depósito delantero, posterior y cañerías de freno con lo que se obtuvo muestras de líquido comprendidas entre 60 y 90 ml dependiendo del tamaño de los depósitos de las motocicletas. Para la medición del punto de ebullición se emplearon dos métodos, por un lado, se hizo uso del equipo Bosch BFT 100 en el cual se efectuaron 3 mediciones por cada muestra con el objetivo de establecer resultados confiables. Esto se basa en el concepto de repetibilidad que de acuerdo a (Senar, 2001) es una medida estadística referente a la consistencia de mediciones de una determinada característica en un mismo individuo; para tener un resultado confiable de repetibilidad por lo menos 2 mediciones deben ser efectuadas en cada individuo o muestra. El estudio de repetibilidad se efectúa a través de un análisis de varianza de un solo factor ANOVA, en donde la repetibilidad tendrá un valor de 0 a 1 siendo un valor aceptable para un estudio de 0.7. A su vez el punto de ebullición se validó a través de la medición de dicha característica en el laboratorio QUALCO mediante la aplicación de la norma ASTM D1120 haciendo uso del equipo GD-F 8063 en una de una de las muestras corroborando la información obtenida con el equipo BOSCH BFT100, tal como indica (Mills, 1998) en su patente FLUID BOILING POINT ANALYZER, en donde recalca que para verificar las mediciones obtenidas con el equipo BFT100 una muestra puede ser enviada a laboratorio para la medición del punto de ebullición de equilibrio. Posteriormente se midió la humedad presente en el líquido empleando el mismo concepto de repetibilidad con el objetivo de establecer una relación entre el decrecimiento del punto de ebullición y el incremento de absorción de humedad debido a la característica higroscópica del líquido haciendo uso del equipo Duoyi DY23B. Finalmente se incrementó una cantidad de 10 ml de líquido nuevo DOT 4 a las muestras que se encontraron por debajo del punto de ebullición

húmedo, en dichas muestras se efectuó las mismas mediciones que en las muestras originales con el objetivo de establecer si existe una mejora o no en las propiedades del líquido al llevar a cabo esta práctica.

Resultados medición punto de ebullición

Como se mencionó previamente se efectuaron 3 pruebas de punto de ebullición, de las cuales se obtuvo un promedio de la temperatura a la cual el líquido de frenos cambia de fase.

Tabla 7.

Resultados medición punto de ebullición con equipo BOSCH BFT 100

| Moto | N° Prueba | Punto de ebullición (°C) | Promedio punto ebullición (°C) |
|-------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| LX1 | 1 | 194 | 194 |
| | 2 | 197 | |
| | 3 | 190 | |
| SCh2 | 1 | 165 | 166 |
| | 2 | 165 | |
| | 3 | 168 | |
| BjP3 | 1 | 160 | 157 |
| | 2 | 155 | |
| | 3 | 157 | |
| SzV4 | 1 | 142 | 140 |
| | 2 | 142 | |
| | 3 | 136 | |
| YSZ5 | 1 | 144 | 138 |
| | 2 | 140 | |
| | 3 | 131 | |
| TKCR6 | 1 | 136 | 131 |
| | 2 | 132 | |
| | 3 | 126 | |

Fuente. Autores

Las mediciones efectuadas con el equipo BOSCH BFT 100 se validaron a través del análisis estadístico ANOVA presentado a continuación.

Tabla 8.

Análisis de Varianza One Way ANOVA del punto de ebullición

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Entre grupos | 7485,962723 | 5 | 1497,192545 |
| Dentro de los grupos | 207,6803501 | 12 | 17,30669584 |

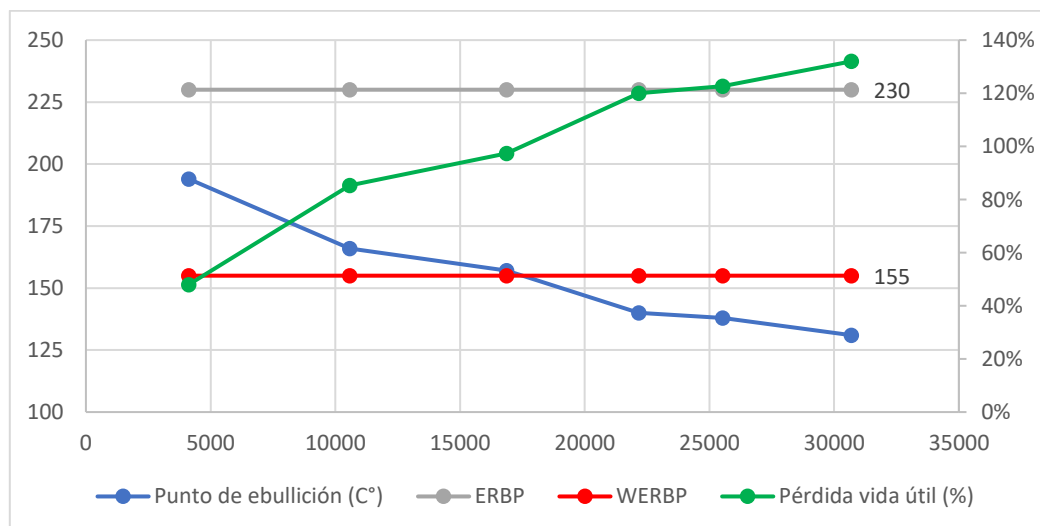
Fuente. Autores

En base a este análisis se aplican los valores obtenidos del promedio de cuadrado entre grupos y dentro de los grupos para obtener el valor de la repetibilidad de las mediciones de acuerdo a la fórmula establecida por (Senar, 2001) adjunta en el anexo 5 del presente documento. Así el grado de repetibilidad es del 98%, con un error de medida del 2%. En adición a este análisis estadístico se confirmaron los resultados obtenidos a través de la medición del punto de ebullición de equilibrio en el laboratorio QUALCO, mediante la validación de la muestra perteneciente a la motocicleta LX1, en donde se obtuvo un valor de 183°C presentando una variación del 5.6% con respecto a las mediciones realizadas con el equipo Bosch BFT 100, valor aceptable de acuerdo a la precisión otorgada por el fabricante del equipo, mismo que indica variaciones cercanas al 5% para rangos de medición de temperatura superiores a 180°C. Los resultados obtenidos en el laboratorio se encuentran presentes en el Anexo 10 del presente documento.

En la figura 4 se presenta el gráfico de los resultados del punto de ebullición en las diferentes muestras de líquidos de frenos, estos resultados se analizan en función del kilometraje recorrido de las motocicletas observando una disminución del punto de ebullición conforme al aumento del kilometraje en cada una de las muestras.

Figura 4.

Resultados medición punto de ebullición



Fuente. Autores

Las mediciones realizadas demuestran que la vida útil del líquido de frenos DOT 4 con tan solo 4125 km se redujo en un 48%, es decir ha perdido la mitad de su vida útil, mientras que, en los siguientes kilometrajes medidos, es decir, a los 10573 y 16871 km la

reducción de su vida útil fue del 85% y 97%, considerándose en este punto inservible, ya que se encuentra a un 3% de pérdida de vida útil de llegar al punto plástico en el que el líquido pierde definitivamente sus propiedades y representa un riesgo para la seguridad del sistema de frenado. En base a estos resultados se puede interpretar que el punto de ebullición del líquido de frenos de acuerdo a lo indicado por normativa FMVSS116 a partir de los 17000 km recorridos pierde sus condiciones mínimas de operación, es decir su punto de ebullición se encuentra en el punto límite de la temperatura mínima de aceptable de 155°C. Al llegar a 30000 km de recorrido el líquido de frenos representa un riesgo total para el conductor ya que presenta un punto de ebullición extremadamente bajo con apenas 31°C sobre el punto de ebullición del agua.

Resultados medición porcentaje de humedad

En cuanto al grado de humedad absorbida por los diferentes líquidos de freno en análisis, al igual que con la medición del punto de ebullición se tomaron 3 medidas por cada muestra. A continuación, se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 9.

Resultados medición del porcentaje de humedad

| Moto | N° Prueba | % Humedad | Promedio % humedad |
|-------------|------------------|------------------|---------------------------|
| LX1 | 1 | 1,5 | 1,7 |
| | 2 | 1,9 | |
| | 3 | 1,7 | |
| SCh2 | 1 | 2,1 | 2,2 |
| | 2 | 2,3 | |
| | 3 | 2,1 | |
| BjP3 | 1 | 2,6 | 2,6 |
| | 2 | 2,6 | |
| | 3 | 2,6 | |
| SzV4 | 1 | 3,4 | 3,1 |
| | 2 | 3 | |
| | 3 | 3 | |
| YSZ5 | 1 | 3,4 | 3,3 |
| | 2 | 3 | |
| | 3 | 3,6 | |
| TKCR6 | 1 | 4 | 3,8 |
| | 2 | 3,8 | |
| | 3 | 3,6 | |

Fuente. Autores

De igual manera estas mediciones se validaron a través de un análisis estadístico ANOVA, verificando la confiabilidad de las mismas. El análisis se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10.

Análisis de Varianza One Way ANOVA del porcentaje de humedad

| Origen de las variaciones | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Promedio de los cuadrados |
|---------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Entre grupos | 9,137777778 | 5 | 1,827555556 |
| Dentro de los grupos | 0,48 | 12 | 0,04 |

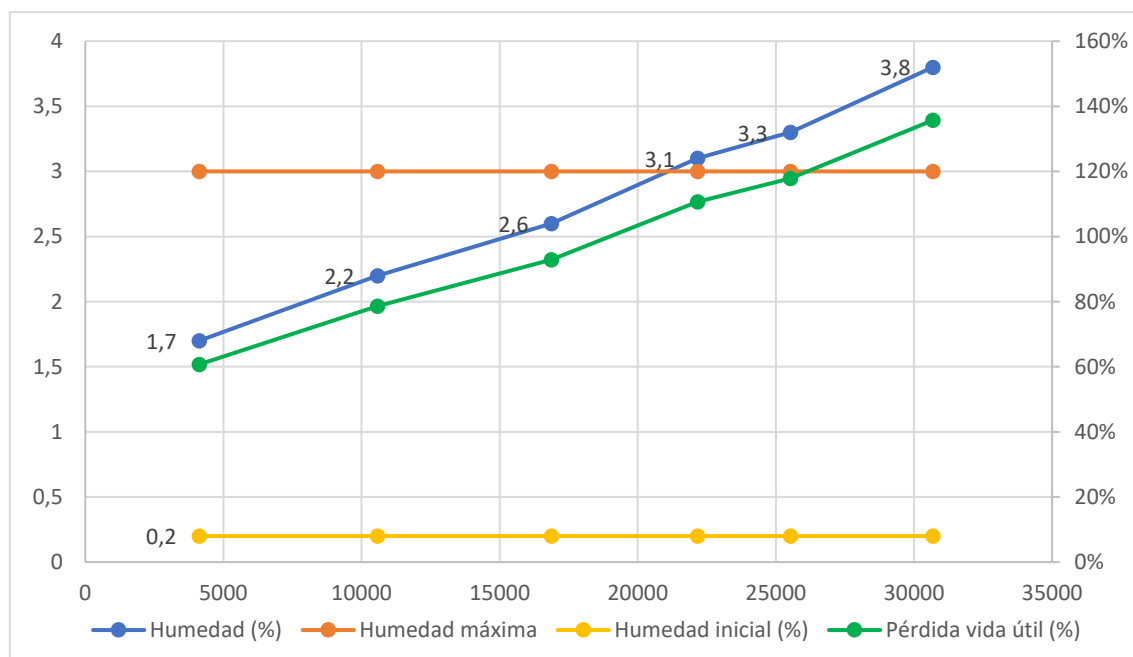
Fuente. Autores

En función de los datos obtenidos del promedio de cuadrados entre grupos y dentro de los grupos se efectuó la ecuación de repetibilidad establecida por (Senar, 2001) determinando que el grado de repetibilidad es de 96% con un error de medida del 4%.

En la figura 5 se presentan los resultados obtenidos en forma de gráfico referentes a la medición de humedad en cada una de las muestras de líquidos de frenos tomando como referencia un valor máximo de humedad tolerable en el líquido de 3%, definiendo de esta manera el punto en el que deja de ser útil.

Figura 5.

Resultados medición porcentaje de humedad



Fuente. Autores

De acuerdo a los resultados obtenidos en base a la medición del estado del líquido de frenos basándose en la humedad presente en el mismo, la vida útil del líquido disminuye un 36% a los 4125 km recorridos y continúa disminuyendo hasta un 85% de pérdida hasta los 17000 km; en este punto el líquido se encuentra cercano al límite máximo de humedad sobre la cual deja de ser útil, sin embargo, aún cumple con las condiciones mínimas de funcionamiento. El punto crítico de acuerdo al análisis del estado del líquido por medición de

humedad se sitúa cercano a los 22000 km, en donde la cantidad de agua absorbida por el líquido representa un riesgo para el sistema de frenado. El líquido de frenos en óptimas condiciones contiene un 0.1% de humedad y pierde sus propiedades de manera gradual hasta alcanzar un valor de 3% de humedad presente, lo que indica que a partir de este kilometraje el líquido de frenos deja de ser útil. Se evidencia que, pese a que la muestra de 30687 km perteneciente a la motocicleta TKCR6 es 2 años más reciente en comparación a las muestras de otras motocicletas a excepción de la muestra LX1, es la muestra que mayor cantidad de agua ha absorbido, esto se debe a las condiciones de operación del vehículo, el cual presenta un kilometraje elevado en comparación a la antigüedad del mismo. Por su característica higroscópica el líquido de frenos es propenso a absorber humedad, cuanto mayor sea la exposición del mismo al ambiente mayor será la absorción.

Resultados de punto de ebullición y porcentaje de humedad en muestras con incremento de líquido de frenos nuevo

Posterior a la medición del punto de ebullición del líquido de frenos en las muestras de las 6 motocicletas en estudio se determinó que el líquido de frenos de 3 motocicletas había perdido los requerimientos mínimos de operación, por lo que se incrementó 10 ml de líquido nuevo de la misma categoría, es decir DOT 4 obteniendo los siguientes resultados referentes al punto de ebullición

Tabla 11.

Resultados de medición de punto de ebullición con incremento de líquido de frenos nuevo categoría DOT 4

| Moto | N° Prueba | Punto de ebullición (°C) | Promedio punto de ebullición (°C) |
|-------------|------------------|---------------------------------|--|
| | 1 | 141 | |
| SzV4 | 2 | 142 | 142 |
| | 3 | 144 | |
| | 1 | 135 | |
| YSZ5 | 2 | 139 | 139 |
| | 3 | 143 | |
| | 1 | 133 | |
| TKCR6 | 2 | 130 | 132 |
| | 3 | 134 | |

Fuente. Autores

Al igual que en la medición de las muestras iniciales, se efectuó la medición del porcentaje de humedad presente en estas tres muestras posterior al incremento de líquido de frenos nuevo obteniendo los resultados presentados en la Tabla 12.

Tabla 12.

Resultados de medición de porcentaje de humedad con incremento de líquido de frenos nuevo categoría DOT 4

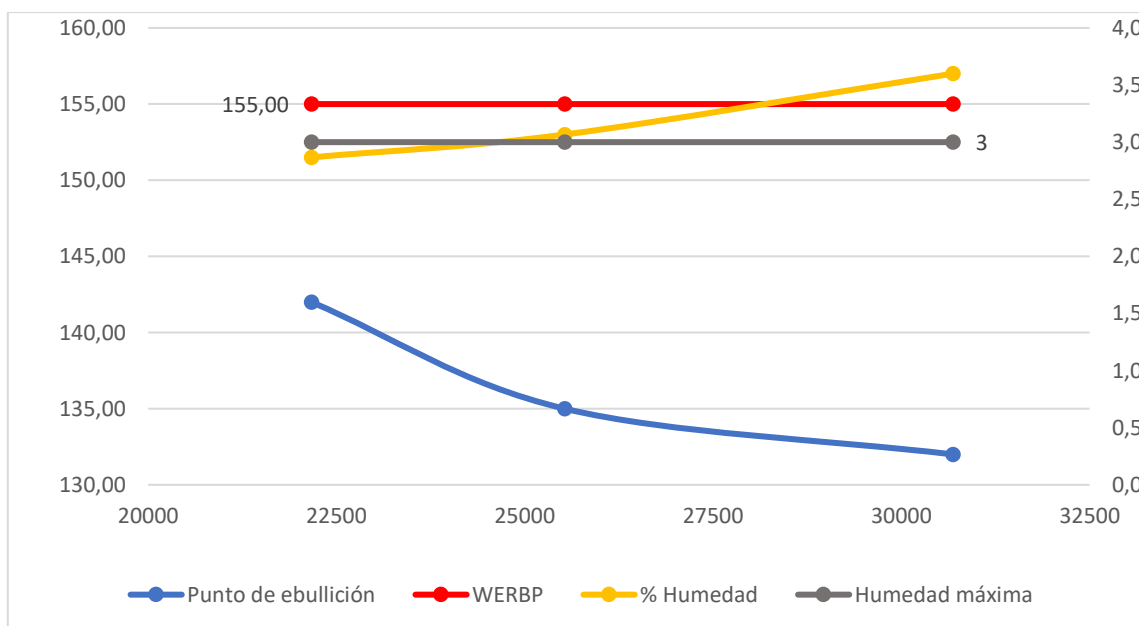
| Moto | N° Prueba | % Humedad | Promedio % humedad |
|-------|-----------|-----------|--------------------|
| SzV4 | 1 | 2,7 | 2,9 |
| | 2 | 2,9 | |
| | 3 | 3 | |
| YSZ5 | 1 | 3,4 | 3,1 |
| | 2 | 2,9 | |
| | 3 | 2,9 | |
| TKCR6 | 1 | 3,8 | 3,6 |
| | 2 | 3,6 | |
| | 3 | 3,4 | |

Fuente. Autores

En la figura 6 se presentan los resultados obtenidos en forma gráfica referentes al punto de ebullición y porcentaje de humedad presente en el líquido de frenos después de haber sido incrementado con 10 ml de líquido nuevo.

Figura 6.

Resultados de punto de ebullición y porcentaje de humedad en muestras con incremento de líquido de frenos nuevo



Fuente. Autores

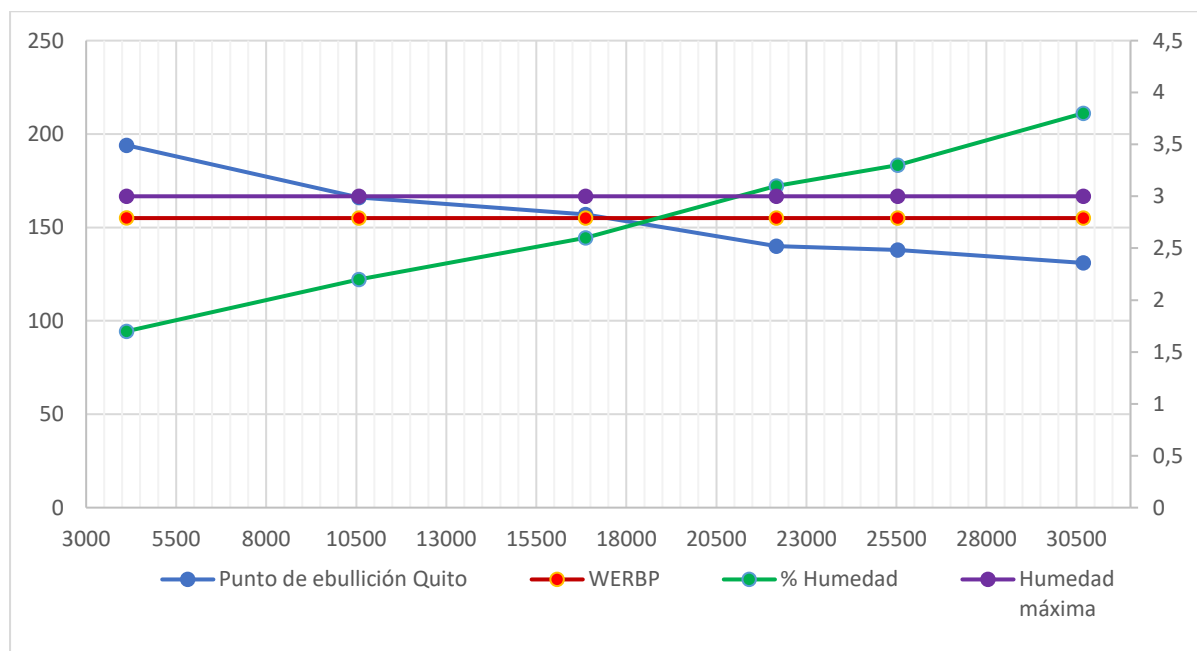
En promedio dentro del depósito de líquido de frenos en vehículos de categoría L3 se tiene 30 ml de volumen. Una práctica común dentro de nuestro medio es el completar el líquido de frenos, sin embargo, en muy pocas ocasiones se realiza el cambio íntegro del mismo, por lo que se decidió simular esta situación en las muestras cuyo punto de ebullición se encontraba por debajo del punto crítico efectuando un incremento de 10 ml de líquido de frenos nuevo por cada muestra. Es evidente que pese al aumento del líquido de frenos nuevo ninguna de las muestras en análisis fue capaz de superar el punto de ebullición húmedo ni disminuir considerablemente el porcentaje de humedad por debajo del 3%. Esto refleja que esta práctica en esta categoría de vehículos no resulta beneficiosa debido al poco volumen de líquido presente en el circuito hidráulico de la motocicleta.

Comparativa de Resultados

La figura 7 presenta la combinación de los resultados obtenidos tanto de punto de ebullición como de porcentaje de humedad en las muestras de líquidos de frenos de los vehículos de categoría L3 estableciendo como punto crítico o límite el punto de ebullición húmedo o WERBP el cual se alcanza a los 155°C representado por la línea roja a lo largo del gráfico, de esta manera se identifica el rango de kilometraje a partir el cual el punto de ebullición del líquido de frenos empieza a situarse por debajo del límite y al mismo tiempo su porcentaje de humedad supera el máximo permitido. Según los resultados obtenidos se puede prevenir el uso de líquido de frenos que ya no poseen las características físicas y químicas para un desempeño óptimo.

Figura 7.

Comparativa de Resultados



Fuente. Autores

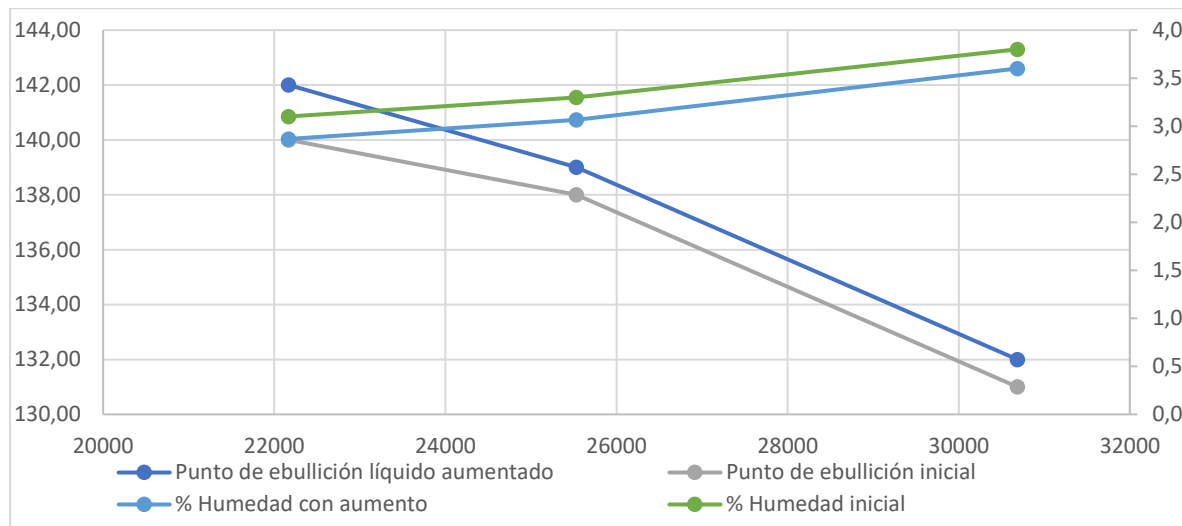
En la comparativa de resultados se determina que el mayor deterioro del líquido de frenos se da en los primeros 17000 km, en donde se observa que con tan solo un 2.6% de humedad presente en el líquido la caída del punto de ebullición alcanza 73°C, es decir el 97% de la vida útil del líquido se cumple dentro de este rango de kilometraje, sin importar la antigüedad de la motocicleta ya que la primera muestra corresponde al vehículo LX1 año 2022 mientras que la segunda muestra corresponde al vehículo SCh2 año 2020, y la tercera

muestra corresponde a la motocicleta Bjp3 año 2020 estableciendo que el kilometraje tiene un mayor impacto en el estado del líquido que la antigüedad del mismo. Posterior a este kilometraje la caída del punto de ebullición es más estable presentando una caída de 26°C en los próximos 13000 km. Por otro lado, el incremento del porcentaje de humedad es más uniforme a lo largo de la vida útil del líquido de frenos, observándose que al alcanzar el líquido un valor cercano a 4% de humedad el líquido posee un punto de ebullición inferior a los 140°C. En la gráfica se observa que el punto en el que convergen las gráficas del punto de ebullición y del porcentaje de humedad, es ligeramente superior a 18000 km con una temperatura de 150°C y un porcentaje de humedad ligeramente superior al 2,5%. Esto indica que, si bien el método de verificación del estado del líquido de frenos a través de la medición del punto de ebullición es más preciso, una buena alternativa que no difiere en gran medida es la verificación por medio de la medición del porcentaje de humedad, ya que ambos métodos muestran resultados similares.

En la figura 8 se muestran una comparativa de los resultados de punto de ebullición y porcentaje de humedad obtenidos con las muestras iniciales y las muestras afectadas por el incremento de líquidos de frenos nuevo en las mismas.

Figura 8.

Comparativa de resultados entre las muestras iniciales y las muestras afectadas por el incremento de líquido de frenos nuevo



Fuente. Autores

En la comparativa de resultados de las muestras iniciales con las muestras con incremento de líquido de frenos nuevo se observa que el cambio tanto del punto de ebullición como del porcentaje de humedad en las mismas es mínimo. En la muestra perteneciente a la motocicleta SzV4 se tiene un incremento de 2°C en el punto de ebullición y una disminución del porcentaje de humedad de 0.2%; por otro lado, en la muestra perteneciente a la motocicleta YSZ5 se tiene un incremento de 1°C y una disminución de humedad de 0.2%. Finalmente, la muestra perteneciente a la motocicleta TKCR6 mostró un incremento de 1°C y una disminución de humedad de 0.2%. Esto demuestra que, una vez alcanzado el punto plástico en el líquido de frenos, la mezcla con líquido nuevo no refleja un cambio significativo en el mismo que ayude a recuperar los requerimientos mínimos de seguridad establecidos para el uso del líquido.

Conclusiones

El líquido de frenos debido a sus componentes básicos como lo es el etilenglicol y poli glicoles cuya composición química se basa en enlaces de hidrógeno y oxígenos es propenso a absorber humedad del ambiente, lo cual afecta directamente al punto de ebullición del mismo, característica fundamental en la seguridad del sistema de frenado. Debido a la operación del vehículo esta característica higroscópica provoca que el líquido pierda sus propiedades y a su vez afecte a otros elementos del sistema de frenado como lo son las cañerías y cauchos debido a la corrosión generada en el sistema y el estrés térmico al que se ven sometidos. Un líquido de frenos que no cumple con los requisitos mínimos establecidos en las normativas de seguridad de transporte deja de ser un elemento de seguridad confiable al momento de la conducción ya que compromete la eficiencia de frenado de la motocicleta al ser propenso a generar burbujas de vapor que afectan la acción de frenado normal del sistema hidráulico, lo que puede desencadenar en accidentes de tránsito.

Después del análisis de los resultados obtenidos referentes al punto de ebullición del líquido de frenos y porcentaje de humedad presente en el mismo en vehículos categoría L3 se determinó que una vez superados los 17000 km de recorrido el líquido de frenos llega al punto crítico en donde su punto de ebullición se encuentra por debajo de límite mínimo establecido en las normativas de seguridad como lo es la FMVSS 116, presentando valores de cercanos a los 155°C para el punto de ebullición, y 3% de presencia de humedad. Posterior a este kilometraje el líquido ha alcanzado su punto plástico dejando de ser apto para la operación en el vehículo. Estos resultados se contrarrestan con los datos de mantenimiento especificados por los fabricantes, quienes indican que el cambio de líquido de frenos debería realizarse cada 2 años o 30000 km, sin embargo, el cambio debe realizarse con anticipación a estos tiempos recomendados. Además, se establece que el factor de mayor incidencia en el desgaste es el kilometraje recorrido imponiéndose sobre el tiempo transcurrido; esto se evidencia en base a los años de fabricación de las motocicletas tomadas en consideración, en donde la motocicleta con mayor desgaste en el líquido corresponde a la más reciente de todas las analizadas.

Dentro de las pruebas de punto de ebullición y porcentaje de humedad en las muestras que superaron el punto elástico llegando al punto plástico, es decir en las motocicletas SzV4, YSZ5 y TKCR6, en las cuales se aumentó 10 ml de líquido de frenos categoría DOT 4 nuevo simulando la práctica recurrente en los talleres mecánicos de nuestro medio consistente en rellenar el líquido faltante dentro del depósito, se estableció que no representa un beneficio en la seguridad del mismo, ya que de acuerdo al análisis realizado en dichas muestras se obtuvo que los cambios no fueron significativos, con un rango de incremento del punto de ebullición de entre 1 y 2 °C y con una disminución del porcentaje de humedad de máximo 0.2% en relación al volumen total de la muestra. Por lo tanto, una vez alcanzado el punto plástico del líquido de frenos se recomienda realizar el reemplazo íntegro del líquido de frenos presente en el sistema.

Referencias

- ASTM INTERNATIONAL. (2004). *Standard Test Method for Boiling Point of Engine Coolants*. Designation: D 1120 – 94. <https://vdocuments.net/astm-d1120-94-r04boiling-point-of-engine-coolantspdf.html>
- Bako, S., Parason, E., & Igbax, S. (2019). An Overview of Hydraulic Brake Fluid Contamination. *ISTEAMS*, 47–56. https://www.researchgate.net/publication/342846047_An_Overview_of_Hydraulic_Brake_Fluid_Contamination
- Baldeón, G., Reinoso, C., Abad, J., Sandoval, R., Reinoso, N., Zapata, D., Corella, M., Carrillo, N., Molina, M., Miño, F., Rodríguez, J., Tituaña, J., Padilla, D., Guzmán, R., & Peñafiel, C. (2020). *ANUARIO 2020*. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/06/ANUARIO-2020-AEADE.pdf>
- Baldeón, G., Reinoso, C., Sandoval, R., Abad, J., Corella, M., Peñafiel, C., Molina, M., Zapata, D., Miño, F., Padilla, D., Pardo, D., Tituaña, J., Vivanco, K., & Rodríguez, J. (2021). *ANUARIO 2021*. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>
- Bauzá, F. (2018). Introducción. En *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos)* (pp. 1–3). https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf
- Berja, J. (2020). *DISEÑO DEL SISTEMA DE FRENADO DE UNA MOTOCICLETA PARA CIRCULACIÓN EN CARRETERA*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/151746/Diez%20-%20Dise%C3%B1o%20del%20sistema%20de%20frenado%20de%20una%20motocicleta%20para%20circulaci%C3%B3n%20en%20carretera.pdf?sequence=1>
- Coba, G. (2020). *Ventas de motocicletas crecen 25% por la coronacrisis*. primicias.ec/noticias/economia/venta-motocicletas-crecen-coronavirus-crisis/
- Code of Federal Regulations. (2004). *571.116 Standard No. 116; Motor vehicle brake fluids*. Title 49. <https://www.ecfr.gov/current/title-49/subtitle-B/chapter-V/part-571/subpart-B/section-571.116>
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012a). Los frenos en los vehículos. En *Sistemas de transmisión y frenado* (pp. 226–231). Editorial Editex, S.A. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/2412/9788490033708%20-%20STF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Domínguez, E., & Ferrer, J. (2012b). Mantenimiento del embrague de fricción. En *Sistemas de transmisión y frenado* (pp. 52–52). Editorial Editex, S.A. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/2412/9788490033708%20-%20STF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferro, J. (2021). Active Safety. En *ACTIVE AND PASSIVE SAFETY IN VEHICLES* (pp. 65–66). Lulu.com. <https://es.scribd.com/read/502112086/ACTIVE-AND-PASSIVE-SAFETY-IN-VEHICLES>

- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 165–172. <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/860/1363>
- Hero MotoCorp. (2019). *PROGRAMA DE MANTENIMIENTO* (pp. 42–44). chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://www.heromotocorp.com/wp-content/uploads/2019/12/XPULSE-200.pdf>
- Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP. (2008). Líquido para frenos. En *MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS DE MOTOCICLETAS* (1a ed., pp. 44–59). Instituto Técnico de Capacitación y Productividad INTECAP. <https://dokumen.tips/documents/sistema-de-frenos-de-motocicletas-intecappdf.html?page=2>
- LIQUI MOLY. (2018). *Brake fluid*. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/https://www.liquimoly.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Technische_Informationen/51159_TI_Bremsflu__ssigkeit_EN_1808_view_M017271_57735.pdf
- Mills, L. (1998). *FLUID BOILING POINT ANALIZER* (Patent Núm. 5,814,721).
- Mitchell, D., Kao, M.-J., Tien, D.-C., Ting, C.-C., & Tsung, T.-T. (2006). Hydrophilic Characterization of Automotive Brake Fluid. *Journal of Testing and Evaluation*, 34(5). <https://doi.org/10.1520/JTE14254>
- Neil, D., & Cortez, L. (2018). Investigación cuantitativa y cualitativa. En *PROCESOS Y FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA* (pp. 68–87). UTMACH. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestigacionCientifica.pdf>
- Nohter, D. (2020). EL GOBIERNO COMPARADO Y LOS SISTEMAS POLÍTICOS COMPARADOS. En H. Arroyo (Ed.), *Antologías para el estudio y la enseñanza de la ciencia política* (1a ed., Vol. 3, pp. 104–2015). UNAM. chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6180/18.pdf>
- Ott, L. S., Smith, B. L., & Bruno, T. J. (2008). Experimental test of the Sydney Young equation for the presentation of distillation curves. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 40(9), 1352–1357. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2008.05.009>
- Podoprigora, N., Dobromirov, V., & Stepina, P. (2018). Method of assessing the influence of the moisture content in the braking fluid on the braking system actuation efficiency. *Transportation Research Procedia*, 36, 597–602. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.147>
- Reif, K. (2014a). Antilock braking system (ABS). En *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems* (pp. 74–90). Springer Vieweg. https://www.academia.edu/36090929/Brakes_Brake_Control_and_Driver_Assistance_Systems_Function_Regulation_and_Components_Bosch_Professional_Automotive_Information
- Reif, K. (2014b). Brake fluid. En *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems* (pp. 55–55). Springer Vieweg. https://www.academia.edu/36090929/Brakes_Brake_Control_and_Driver_Assistance_S

systems_Function_Regulation_and_Components_Bosch_Professional_Automotive_Information

- Reif, K. (2014c). Brake testing. En *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems* (pp. 265–265). Springer Vieweg.
https://www.academia.edu/36090929/Brakes_Brake_Control_and_Driver_Assistance_Systems_Function_Regulation_and_Components_Bosch_Professional_Automotive_Information
- Rodríguez, A., Vecino, M., Torres, F., & Jimeno, S. (2022). Tema 43. La seguridad en la conducción de vehículos prioritarios. En *POLICÍA NACIONAL ESCALA BÁSICA. TEMARIO VOLUMEN 4* (pp. 240–256).
<https://es.calameo.com/read/00369713818316a880284>
- Rodríguez, D., Santana, M., & Pardo, C. (2015). *La motocicleta en América Latina: caracterización de su uso e impactos en la movilidad en cinco ciudades de la región* (pp. 5–25). CAF. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/754/CAF%20LIBRO%20motos%20digital.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sejkorová, M., Verner, J., Sejkota, F., HurtoVá, I., & Senkyi, J. (2018). Analysis of Operation Wear of Brake Fluid Used in a Volvo Car. *Proceedings of 21st International Scientific Conference. Transport Means 2018*, 592–596. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/72427/sejkorova.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Senar, J. (2001). La medición de la repetibilidad y el error de medida. En *Etología* (pp. 53–63). Sociedad Española de Etología. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/http://www.bcn.cat/museuciencies_fitxers/imatges/FitxerContingut1201.pdf
- Skrucany, T., Semanova, S., Figlus, T., & Scurok, O. (2016). THE INFLUENCE OF VEHICLE OPERATION ON THE BRAKE FLUID BOILING POINT. *Trans Motauto World*, 1(3), 77–79. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/<https://stumejournals.com/journals/tm/2016/3/35.full.pdf>
- Sosa, A., Sánchez, D., Gómez, H., & Ferrer, A. (2013). *MOTOS Y SEGURIDAD VIAL POR UNA CONVIVENCIA MÁS SEGURA Memorias* (CAF, Ed.; pp. 8–10). CAF. chrome-extension://oemmnecbldboiebfnladdacbfmadadm/https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/799/MEMORIAS_MOTOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Teixidó, J. (2000). 4. Elementos definidores de la investigación: diseño. En *El acceso a la dirección de un centro educativo público* (pp. 114–115). GROC.
<https://es.slideshare.net/HernanSantiagoEffioLara/desarrollo-de-diseo-de-investigacion>
- Vélez, P. (2016). 1.5 Dinámica de frenado. En *Implementación de un sistema de frenado ABS en una motocicleta Honda Invicta CBF150M* (pp. 23–32). Universidad del Azuay.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5576/1/11905.pdf>
- Wójcik, M. (2019). Rheological Properties of New and used Brake Fluids. *Acta Mechanica Slovaca*, 22(4), 50–54. <https://doi.org/10.21496/ams.2018.034>

Anexos

Anexos Materiales y Métodos

Anexo 1.

Modelos de motocicletas obtenidas previo a la definición de características específicas

| Modelo | Tipo de líquido de freno empleado |
|-----------------------|--|
| BMW GS310 | DOT 4 |
| Daytona Scrambler 250 | DOT 3 Y DOT 4 |
| Loncin LX 300 | DOT 3 Y DOT 4 |
| Hero Xpulse 200 | DOT 3 Y DOT 4 |
| Shineray Chief II | DOT 4 |
| KTM RC 200 | DOT 4 |
| Bajaj Pulsar 180 | DOT 3 Y DOT 4 |
| Suzuki V-Strom 1050 | DOT 4 |
| Tuko TK-CR3 | DOT 3 Y DOT 4 |
| Yamaha SZ 150 | DOT 3 Y DOT 4 |

Fuente. Autores

Anexo 2.

Evidencia fotográfica de motocicletas elegidas para la obtención de muestras

| Modelo | Foto | Kilometraje | Tipo de líquido |
|------------------------|---|--|---|
| Loncin LX300 |  |  |  |
| Shineray Chief II 2021 |  |  |  |

Bajaj Pulsar 180



Suzuki V-Strom 1050



Yamaha SZ 150



Tuko TK-CR3












Fuente. Autores

Anexos Resultados y Discusión

Anexo 3.

Pruebas punto de ebullición con equipo BOSCH BFT100

| Moto | Número de prueba | | |
|------|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| LX1 |  |  |  |
| SCh2 |  |  |  |
| BjP3 |  |  |  |

SzV4



YSZ5



TKCR6



Fuente. Autores

Anexo 4.
Pruebas porcentaje de humedad

| Modelo | Número de prueba | | |
|--------|------------------|---|---|
| | 1 | 2 | 2 |
| LX1 | | | |
| SCh2 | | | |
| BjP3 | | | |

SzV4



YSZ5



TKCR6



Fuente. Autores

Anexo 5.

Fórmula de repetibilidad y error de medida

$$r_i = \frac{E}{E+D} \quad [\text{Ec.3}]$$

En donde E hace referencia a la varianza entre individuos y viene dada por la siguiente fórmula

$$E = \frac{(\text{Promedio cuadrados entre grupos} - \text{Promedio cuadrados dentro de grupos})}{2} \quad [\text{Ec.4}]$$

D hace referencia a la varianza dada dentro de los individuos como se muestra a continuación

$$D = \text{Promedio de cuadrados dentro de los grupos} \quad [\text{Ec.5}]$$

Por otro lado, el error de medida EM es igual al inverso de la repetibilidad, es decir

$$EM = \frac{D}{E+D} \quad [\text{Ec.6}]$$

Anexo 6.

Cálculo repetibilidad y error de medida del punto de ebullición

$$E = \frac{(1497,193 - 17,306)}{2} = 739,944$$

$$D = 17,306$$

$$r_i = \frac{739,944}{739,944 + 17,306} = 0.98$$

$$EM = \frac{17,306}{739,944 + 17,306} = 0.02$$

Anexo 7.

Cálculo repetibilidad y error de medida del porcentaje de humedad

$$E = \frac{(1,828 - 0,04)}{2} = 0.894$$




$$D = 0.04$$

$$r_i = \frac{0.894}{0.894 + 0,04} = 0.96$$

$$EM = \frac{0.04}{0.894 + 0.04} = 0.04$$

Anexo 8.










Incremento de 10 ml de líquido de frenos nuevo en muestras por debajo del punto de ebullición húmedo

| Modelo | Incremento de líquido nuevo |
|---------------|--|
| SzV4 |  |
| YSZ5 |  |
| TKCR6 |  |

Fuente. Autores

Anexo 9.










Pruebas punto de ebullición con 10 ml de líquido de frenos nuevo incrementado

| Moto | Número de prueba | | |
|-------|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| SzV4 |  |  |  |
| YSZ5 |  |  |  |
| TKCR6 |  |  |  |

Fuente. Autores

Anexo 10.

Pruebas porcentaje de humedad con 10 ml de líquido de frenos nuevo incrementado

| Moto | Número de prueba | | |
|--------------|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| SzV4 |  |  |  |
| YSZ5 |  |  |  |
| TKCR6 |  |  |  |

Fuente. Autores

Anexo 11.

Prueba punto de ebullición laboratorio QUALCO



Resultados de análisis de punto de ebullición en líquido de frenos

Quito, 22 de noviembre 2022

Solicitante: Edmundo Ocaña (UIDE)
Descripción de la muestra: Líquido de frenos DOT 4
Responsable de análisis: Ing. Fabio Tutiven
Supervisión de análisis: Ing. Ligia Moscoso
Fecha de recepción de muestra: 16/11/22
Fecha del análisis: 22/11/22

El análisis se realizó bajo el método descrito.

| PARAMETRO | METODO | UNIDADES | RESULTADO |
|---------------------|------------|----------|-----------|
| Punto de ebullición | ASTM D1120 | °C | (A) 173* |
| | | | (B) 183* |

*No contamos con acreditación de la Secretaría Ecuatoriana de acreditación Ecuatoriana SAE

Observaciones:

1. (A) Temperatura medida directamente con el termómetro
2. (B) Temperatura corregida con el factor de corrección por presión barométrica 545 mmHg.

Elaborado por:

Ing. Fabio Tutiven

Aprobado por:

Ing. Ligia Moscoso R.



ANEXOS




Elaborado por: Jorge Navarro

Fecha: 16 de oct. 2022

Proyecto: UIDE estubo pintado plastico lig de frenos en vehiculos col. L3

| Item | Cantidad de producto | Peso (kg) | Fecha de recepción | Nombre del cliente | Evidencia |
|---------------------|----------------------|-----------|--------------------|--------------------|-------------|
| lig de frenos DOT 4 | 90ml | 0.1895 | 16/10/22 | UIDE Edmundo Quiro | Fotografía. |

Recibido por:



Aceptado por:

