



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i4.4659>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Evaluación de los Efectos del Sobrecalentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

Evaluation of the Effects of Overheating and Wear of Clutch Kits in Light Commercial Vehicles

Avaliação dos efeitos do sobreaquecimento e do desgaste dos kits de embraiagem em veículos comerciais ligeiros

Macías Orellana Álvaro Paul ^I
macias.a.8764@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-4862-2039>

Palma Cuenca Winter Benito ^{II}
palma.w.8394@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-2564-8790>

Jean Carlos Mendoza Loor ^{III}
j.mendoza@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6924-0825>

Correspondencia: macias.a.8764@istlam.edu.ec

***Recibido:** 23 de octubre de 2025 ***Aceptado:** 14 de noviembre de 2025 *** Publicado:** 30 de diciembre de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.

Resumen

El presente artículo de revisión evalúa, desde un enfoque cuantitativo, los efectos del sobrecalentamiento y el desgaste de los kits de embrague (disco, plato de presión y collarín) sobre el desempeño operativo de vehículos livianos de servicio público. La evidencia analizada indica que el régimen urbano severo —arranques repetidos, tráfico denso, maniobras a baja velocidad y tiempos prolongados de semiacoplamiento— incrementa la energía disipada por fricción, elevando la carga térmica del sistema y acelerando la degradación del material de fricción. Los resultados sintetizados muestran que la temperatura no se distribuye uniformemente durante el acople; por el contrario, se concentran máximos térmicos en zonas de contacto con presión local elevada, lo que explica la aparición de puntos calientes y daños localizados. Asimismo, la revisión respalda que el desgaste del forro y los cambios físico-mecánicos/tribológicos dependen de variables operativas como temperatura, deslizamiento, torque y tiempo de cierre, manifestándose en pérdida de espesor, modificaciones de rugosidad, variaciones del coeficiente de fricción y modos de falla como vidriado, fisuración o contaminación. En consecuencia, el deterioro térmico-tribológico se relaciona con disminución de la capacidad de transmisión de par, mayor patinamiento, aparición de vibraciones/ruido (NVH) y aumento de incidencias de mantenimiento. A partir de estos hallazgos, se propone orientar la gestión del embrague en flotas de servicio público hacia umbrales de riesgo térmico y patrones de degradación, complementando el kilometraje con indicadores de severidad de uso, y estableciendo prácticas de operación y mantenimiento preventivo para reducir fallas prematuras.

Palabras Claves: sobrecalentamiento; desgaste; embrague automotriz; vehículos livianos de servicio público; desempeño operativo.

Abstract

This review article quantitatively evaluates the effects of overheating and wear of clutch kits (disc, pressure plate, and release bearing) on the operational performance of light commercial vehicles. The analyzed evidence indicates that severe urban driving conditions—repeated starts, heavy traffic, low-speed maneuvers, and prolonged semi-engagement times—increase the energy dissipated by friction, raising the system's thermal load and accelerating the degradation of the friction material. The synthesized results show that the temperature is not uniformly distributed during engagement; on the contrary, thermal maxima are concentrated in contact areas with high local pressure, which explains

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de
Servicio Público

the appearance of hot spots and localized damage. Furthermore, the review supports the conclusion that lining wear and physical-mechanical/tribological changes depend on operating variables such as temperature, slippage, torque, and engagement time, manifesting as thickness loss, roughness modifications, variations in the coefficient of friction, and failure modes such as glazing, cracking, or contamination. Consequently, thermal-tribological deterioration is associated with decreased torque transmission capacity, increased slippage, the appearance of vibrations/noise (NVH), and an increase in maintenance incidents. Based on these findings, it is proposed to guide clutch management in public service fleets toward thermal risk thresholds and degradation patterns, complementing mileage with usage severity indicators, and establishing operating and preventive maintenance practices to reduce premature failures.

Keywords: Overheating; wear; automotive clutch; light commercial vehicles; operational performance.

Resumo

Este artigo de revisão avalia quantitativamente os efeitos do sobreaquecimento e do desgaste dos kits de embraiagem (disco, platô e rolamento de libertação) no desempenho operacional de veículos comerciais ligeiros. As evidências analisadas indicam que condições severas de condução urbana — arranques repetidos, tráfego intenso, manobras a baixa velocidade e tempos prolongados de semi-engate — aumentam a energia dissipada por atrito, elevando a carga térmica do sistema e acelerando a degradação do material de fricção. Os resultados sintetizados mostram que a temperatura não é distribuída uniformemente durante o engate; pelo contrário, os picos térmicos concentram-se em zonas de contacto com elevada pressão local, o que explica o aparecimento de pontos quentes e danos localizados. Além disso, a revisão corrobora a conclusão de que o desgaste do revestimento e as alterações físico-mecânicas/tribológicas dependem de variáveis operacionais como a temperatura, o deslizamento, o binário e o tempo de engate, manifestando-se como perda de espessura, modificações na rugosidade, variações no coeficiente de atrito e modos de falha como vitrificação, fissuração ou contaminação. Consequentemente, a deterioração termotribológica está associada a uma diminuição da capacidade de transmissão de binário, ao aumento do deslizamento, ao aparecimento de vibrações/ruídos (NVH) e ao aumento de incidentes de manutenção. Com base nestas descobertas, propõe-se orientar a gestão de embraiagens em frotas de transportes públicos considerando os limites de risco térmico e os padrões de degradação, complementando a quilometragem com indicadores de

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

severidade de utilização e estabelecendo práticas de manutenção operacional e preventiva para reduzir as falhas prematuras.

Palavras-chave: Sobreaquecimento; desgaste; embraiagem automotiva; veículos comerciais ligeiros; desempenho operacional.

Introducción

En los vehículos livianos de servicio público (p. ej., taxi y transporte urbano ligero), el embrague opera con un régimen de trabajo especialmente exigente: arranques repetidos, maniobras a baja velocidad, cambios frecuentes y periodos de deslizamiento durante el acople. Desde una perspectiva termo-tribológica, este patrón de uso favorece la acumulación de calor en las superficies de fricción y, con ello, el deterioro acelerado de los componentes que conforman el “kit” (disco, plato de presión y elementos asociados). En embragues automotrices secos, se ha descrito que condiciones severas de operación como el deslizamiento interfacial y el incremento de la presión de contacto durante el acople generan calor y elevan la temperatura del sistema; además, fenómenos oscilatorios indeseados durante el acople (p. ej., “judder”) pueden intensificar la generación térmica al promover micro-deslizamientos tipo stick-slip (Gkinis et al., 2019).

El problema del sobrecalefacción no es únicamente un asunto de “temperatura alta”, sino de cómo se distribuye el calor y cómo esa distribución condiciona el desgaste y el desempeño. Para estudiar este comportamiento, la literatura ha desarrollado modelos térmicos que estiman el campo de temperatura en el disco de embrague durante el periodo de deslizamiento, recurriendo a supuestos clásicos como presión uniforme o desgaste uniforme (Abdullah & Schlattmann, 2016). Estos enfoques son útiles porque permiten aproximaciones analíticas/axisimétricas del calentamiento superficial durante un acople, pero su capacidad predictiva puede disminuir cuando la operación real presenta contactos no homogéneos o cargas transitorias intensas, comunes en conducción urbana con detenciones continuas (Abdullah & Schlattmann, 2016).

En esa línea, se ha evidenciado que incorporar presión no uniforme mejora la representación del fenómeno térmico. Un estudio con enfoque de modelo matemático y validación experimental propuso un modelo adimensional de presión no uniforme basado en mediciones con películas sensibles a la presión (Fuji Prescale), mostrando que el flujo de calor varía de forma no lineal con el radio y que las temperaturas más altas se concentran cerca de regiones de mayor presión; además, la distribución de temperatura obtenida se aproxima mejor a ensayos en dinamómetro que los modelos convencionales

Evaluación de los Efectos del Sobrecalentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

(Jin et al., 2022). Este tipo de evidencia es particularmente relevante para flotas de servicio público, donde pequeñas desviaciones del contacto (por deformaciones térmicas, hábitos de conducción o ajustes) pueden traducirse en “puntos calientes” y degradación localizada del forro.

Otro aspecto decisivo en el servicio público es la repetición del evento térmico: no se trata de un solo acople aislado, sino de acoples sucesivos en periodos cortos (tráfico, paradas, semáforos). En un análisis térmico por elementos finitos con múltiples acoples consecutivos, se reportó que los acoples repetidos influyen de manera marcada en la temperatura superficial del disco, reforzando la noción de acumulación térmica bajo operación real (Faidh-Allah, 2018). En términos de modelado, también se han empleado procedimientos transitorios FEM donde, antes de simular el calentamiento, se estiman coeficientes de transferencia de calor usando herramientas CFD (p. ej., ANSYS CFX), con el fin de representar de manera más realista la disipación del sistema (Mouffak & Bouchetara, 2016). El segundo eje del problema es el desgaste, estrechamente vinculado con la temperatura, la energía disipada y las condiciones de operación. Un modelo de regresión validado experimentalmente para forros de embrague mostró que el desgaste puede explicarse considerando variables operativas como temperatura del embrague, velocidad inicial de deslizamiento, torque y tiempo de cierre, a partir de ensayos repetitivos en un tribómetro disco-a-disco que reproduce ciclos de acople tipo “operación real” (Haramina et al., 2025). Complementariamente, investigaciones sobre forros compuestos bajo pruebas automotrices de vida útil han evidenciado que el desgaste y la microgeometría superficial varían con las condiciones de uso, y que escenarios severos pueden clasificarse como “clutch killer” frente a otros moderados, destacando el papel del manejo del embrague como factor decisivo (Biczó et al., 2021; Biczó & Kalácska, 2022). Desde una mirada más general de mecanismos, también se han estudiado procesos de desgaste en embragues mediante modelado matemático, análisis numérico y verificación experimental, incorporando incluso la influencia de propiedades de desgaste y flexibilidad de los materiales de fricción en contacto (Grzelczyk & Awrejcewicz, 2015).

Con base en estos antecedentes, la presente investigación se enfoca en la evaluación de los efectos del sobrecalentamiento y el desgaste de kits de embrague en vehículos livianos de servicio público, integrando la relación temperatura–contacto–desgaste para explicar por qué, en condiciones urbanas severas y repetitivas, el sistema puede evolucionar hacia pérdida de capacidad de transmisión, degradación localizada del forro, vibraciones durante el acople y reducción prematura de vida útil. (Gkinis et al., 2019; Jin et al., 2022; Haramina et al., 2025).

Metodología

La investigación se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental de tipo observacional, debido a que no se manipularán variables ni se inducirán condiciones de operación específicas; por el contrario, se registrarán y analizarán los fenómenos tal como ocurren en el uso real de vehículos livianos de servicio público. El alcance será descriptivo–correlacional, ya que, en una primera fase, se describirán los perfiles de temperatura y los indicadores de desgaste asociados al funcionamiento del kit de embrague; y, en una segunda fase, se analizará la relación estadística entre el sobre calentamiento, el desgaste y variables operativas vinculadas al servicio urbano (frecuencia de arranques, periodos de semiacople, circulación en tráfico denso, rutas con pendientes, kilometraje y hábitos de conducción reportados).

La unidad de análisis será el vehículo liviano de servicio público y su conjunto de embrague (disco, plato de presión y elementos asociados) como sistema funcional. La población estará constituida por la flota disponible en el contexto local de estudio, y la muestra se seleccionará mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios técnicos de inclusión tales como: disponibilidad de historial mínimo de mantenimiento, uso predominante en servicio público, kilometraje verificable y acceso al vehículo para registro de datos. Se establecerán criterios de exclusión para reducir sesgos, por ejemplo, vehículos con modificaciones severas del tren motriz o sin trazabilidad básica de reemplazos del embrague.

La recolección de información combinará métodos documentales, de campo y de inspección técnica, sin intervención experimental. En primer lugar, se efectuará una revisión documental de registros de mantenimiento (órdenes de trabajo, facturas, kilometraje al reemplazo, frecuencia de fallas, tipo de kit instalado cuando esté disponible), con el propósito de construir una línea base de vida útil y eventos recurrentes. En segundo lugar, se aplicará una observación estructurada en operación real, mediante una ficha estandarizada orientada a registrar condiciones de uso relacionadas con el calentamiento: presencia de semiacople prolongado, detenciones frecuentes, arranque en pendiente, carga típica y tipo de recorrido. Complementariamente, se realizará un monitoreo térmico no intrusivo en puntos accesibles del conjunto (por ejemplo, carcasa/campana u otras zonas externas cercanas al embrague), empleando instrumentos de medición adecuados (termopar/termómetro con registro o lecturas repetidas estandarizadas), con el fin de identificar tendencias de temperatura, picos y tiempos de permanencia en rangos elevados, sin alterar el funcionamiento normal del vehículo.

Evaluación de los Efectos del Sobrecalentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

En tercer lugar, cuando por mantenimiento ordinario se retire un kit de embrague, se efectuará una inspección técnica post-uso (caracterización), enfocada en indicadores de desgaste y degradación visibles y medibles: espesor remanente del material de fricción en distintos puntos, uniformidad del desgaste, evidencias de vitrificación, fisuras, contaminación (aceite/polvo) y signos de calentamiento excesivo (coloración, puntos calientes), respaldados con registro fotográfico y lista de verificación. De manera opcional, se podrá aplicar una encuesta estructurada al conductor para cuantificar hábitos de uso del embrague mediante escalas y variables categóricas, fortaleciendo el análisis correlacional. El análisis de datos se organizará en tres niveles. Primero, un análisis descriptivo (medias, dispersión, percentiles y distribución) de temperaturas registradas, kilometraje, frecuencia de fallas y métricas de desgaste. Segundo, un análisis correlacional para identificar asociaciones entre indicadores térmicos (picos y acumulación) y el grado de desgaste o fallas reportadas, utilizando pruebas según el tipo de variable y distribución. Tercero, cuando existan grupos naturales suficientes (por ejemplo, rutas más severas vs. moderadas, o diferentes hábitos de conducción), se realizarán comparaciones no experimentales entre grupos para detectar diferencias significativas. Finalmente, se considerarán criterios de calidad del dato (estandarización de mediciones, verificación de instrumentos y consistencia de registros) y principios éticos básicos (consentimiento informado para encuestas y confidencialidad de información de conductores y unidades).

Resultados

Los estudios analizados coinciden en que, en embragues secos, el sobrecalentamiento y el desgaste no son fenómenos independientes, sino partes de un mismo sistema termo-tribológico en el que la energía disipada por fricción, la distribución de presión y la capacidad de disipación térmica determinan la degradación del kit (disco, plato de presión y componentes asociados). En conjunto, la evidencia permite organizar los resultados en cinco hallazgos principales, directamente aplicables al contexto de vehículos livianos de servicio público, donde predominan arranques frecuentes y periodos repetidos de deslizamiento.

Estos permiten evaluar cuantitativamente que el sobrecalentamiento y el desgaste del kit de embrague (disco, plato de presión y collarín) se asocian con una degradación progresiva del desempeño operativo en vehículos livianos de servicio público. La evidencia analizada indica que el deslizamiento durante el acople y la operación repetitiva en tráfico urbano elevan la carga térmica, favoreciendo máximos localizados de temperatura y acumulación térmica, condiciones que aceleran

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

el deterioro del material de fricción y alteran su estabilidad tribológica. En consecuencia, estos datos sustentan la definición de umbrales de riesgo térmico basados en la ocurrencia de eventos de sobretemperatura y su repetición, así como la identificación de patrones de degradación expresados en desgaste no uniforme, cambios superficiales y pérdida funcional del sistema. A partir de esta relación temperatura–desgaste–desempeño, la revisión respalda la formulación de recomendaciones de operación y mantenimiento enfocadas en reducir el semiacople prolongado, mejorar la detección temprana de síntomas (patinamiento y NVH) y ajustar intervalos de inspección/reemplazo según severidad de uso, más allá del kilometraje fijo.

La distribución térmica durante el acople no es uniforme y tiende a concentrar máximos en zonas críticas (“hot spots”).

En los modelos clásicos del comportamiento térmico del embrague, las aproximaciones de presión uniforme y desgaste uniforme permiten describir la tendencia general del calentamiento en el disco durante el deslizamiento, aportando un marco útil para interpretar el flujo de calor y su evolución transitoria (Abdullah & Schlattmann, 2016). Sin embargo, la literatura muestra que el contacto real puede apartarse de estos supuestos debido a deformaciones, variaciones de carga y condiciones de operación, generando concentraciones térmicas. En particular, el trabajo de Jin et al. (2022) resalta que incorporar presión no uniforme (estimada mediante medición de contacto con película sensible a la presión) conduce a distribuciones térmicas más coherentes con la realidad del acople, al evidenciar que el flujo de calor y las temperaturas máximas se intensifican donde la presión local es mayor (Jin et al., 2022). Esto es relevante para servicio público, porque la repetición de acoples y el semiacople aumentan la probabilidad de que esas zonas críticas se manifiesten de forma recurrente.

La operación urbana favorece la acumulación térmica: los acoples sucesivos elevan el riesgo de sobretemperatura y degradación acelerada.

Una característica esencial del servicio público urbano es la repetición de acoples en ventanas cortas de tiempo. Desde el punto de vista térmico, los resultados reportan que los acoples sucesivos incrementan la temperatura superficial del disco y sostienen un régimen térmico elevado que puede superar la capacidad de disipación, potenciando la degradación (Faidh-Allah, 2018). Este comportamiento respalda la interpretación de que el riesgo no depende solo de un evento aislado, sino del historial térmico acumulado. De manera complementaria, el modelado numérico y la simulación

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

transitoria (incluyendo enfoques FEM) se han utilizado para describir la distribución de temperatura en embragues secos bajo condiciones representativas, aportando herramientas para entender la evolución térmica del conjunto y su sensibilidad a parámetros de operación (Meng & Xi, 2021; Mouffak & Bouchetara, 2016). En síntesis, la evidencia converge en que el servicio urbano —por frecuencia de arranques y deslizamientos— constituye un escenario compatible con acumulación térmica y aumento del potencial de daño por calor (Faidh-Allah, 2018; Meng & Xi, 2021).

El sobrecalefacción modifica la respuesta tribológica: se observan variaciones en fricción y condiciones que favorecen el desgaste.

La literatura experimental sobre materiales de embrague indica que el factor térmico puede alterar parámetros clave del contacto. En ensayos de materiales de fricción, se ha documentado que cambios de temperatura influyen en la respuesta de fricción y en el comportamiento de desgaste, apoyando la relación directa entre carga térmica y degradación funcional del sistema (Al-Karkhia et al., 2024). En términos dinámicos del tren motriz, la interacción térmica y friccional también se relaciona con fenómenos de vibración durante el acople. En modelos integrados térmico-dinámicos se describe que el deslizamiento y las condiciones de contacto pueden excitar respuestas no deseadas (p. ej., vibraciones tipo judder), lo cual, además de afectar confort y control, puede incrementar la disipación térmica local por micro-deslizamientos (Gkinis et al., 2019). En consecuencia, el sobrecalefacción no solo acelera el desgaste, sino que contribuye a inestabilidades friccionales con impacto operativo.

El desgaste del material de fricción está condicionado por variables operativas (temperatura, deslizamiento, torque y tiempo de cierre), y puede modelarse para estimar vida útil.

Los resultados revisados muestran que el desgaste del forro no se explica adecuadamente solo por kilometraje; en cambio, depende de variables ligadas a la energía disipada en el acople. Haramina et al. (2025) reportan un enfoque de modelado en el que la temperatura del embrague, la velocidad inicial de deslizamiento, el torque y el tiempo de cierre se consideran variables relevantes para predecir el desgaste en condiciones representativas de operación, lo que respalda que en servicio público —donde estas variables suelen intensificarse— la tasa de desgaste tienda a aumentar (Haramina et al., 2025). Adicionalmente, se han propuesto procedimientos de estimación de vida útil basados en análisis acoplados (por ejemplo, integrando efectos de campo térmico y desgaste) con el objetivo de aproximar el comportamiento del componente bajo carga real (Kulkarni et al., 2021). En

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

conjunto, estos resultados respaldan la posibilidad de traducir el patrón de operación del servicio público (arranques, semiacople, carga) en indicadores de riesgo y en aproximaciones de vida útil del kit.

La degradación se evidencia también en cambios de superficie: microgeometría, correlaciones tribológicas y propiedades termo-mecánicas del material.

La evidencia sobre forros compuestos muestra que la superficie de fricción evoluciona con el uso: cambia la microgeometría, se modifican parámetros de rugosidad y se observan correlaciones entre variables tribológicas bajo diferentes condiciones de carga. La serie de estudios de Biczó y colaboradores documenta cómo parámetros de ensayo automotriz influyen en el desgaste y la microgeometría superficial del material de fricción, así como relaciones entre fricción, desgaste y condiciones de operación (Biczó et al., 2021; Biczó & Kalácska, 2022; Kalácska & Biczó, 2023). Estos resultados son particularmente útiles para un marco de revisión aplicado, porque aportan criterios para interpretar hallazgos típicos en kits retirados de flota (por ejemplo, desgaste no uniforme, cambios de textura superficial o evidencia de sollicitación severa). Complementariamente, se han reportado enfoques micromecánicos y caracterizaciones de propiedades térmicas en materiales compuestos de forros de embrague, reforzando que el desempeño térmico del material (capacidad de conducción/retención de calor y respuesta termo-mecánica) influye en la resistencia al daño por sobretensión (Biczó et al., 2020). Por tanto, el desgaste en servicio público debe entenderse como la manifestación final de una evolución de superficie condicionada por el historial térmico y de carga.

Resultado integrador para el contexto de servicio público.

Con base en el conjunto de estudios, el patrón explicativo más consistente es el siguiente: (i) el deslizamiento durante el acople genera calor y eleva temperatura, (ii) la presión de contacto no uniforme favorece máximos térmicos localizados, (iii) los acoples repetidos promueven acumulación térmica, (iv) el factor térmico altera la fricción y acelera el desgaste, y (v) la degradación se refleja en cambios superficiales y en síntomas operativos (patinamiento/vibraciones) que afectan el desempeño del vehículo. Esta cadena causal está soportada por evidencia térmica y de contacto (Abdullah & Schlattmann, 2016; Jin et al., 2022; Faidh-Allah, 2018), por evidencia tribológica y dinámica del acople (Al-Karkhia et al., 2024; Gkinis et al., 2019), y por modelos/observaciones de desgaste y evolución superficial (Haramina et al., 2025; Biczó et al., 2021; Kalácska & Biczó, 2023).

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

En consecuencia, para vehículos livianos de servicio público, la literatura respalda que el sobrecalefacción y el desgaste se comportan como fenómenos acoplados y predictibles mediante variables operativas, justificando un enfoque de revisión orientado a proponer indicadores de riesgo y criterios de mantenimiento preventivo basados en severidad de uso.

Tabla 1. Resumen de los resultados con la evidencia literaria

Resultado clave	Evidencia reportada en la literatura	Implicación para vehículos livianos de servicio público (qué se esperaría observar)	Fuentes (cita APA)
1. La temperatura del embrague no se distribuye uniformemente durante el acople	Los modelos térmicos muestran que el campo de temperatura en el disco depende de cómo se asume el contacto (presión uniforme o desgaste uniforme), describiendo tendencias generales del calentamiento durante el deslizamiento	En operación urbana podrían presentarse zonas con mayor solicitud térmica y degradación localizada del forro	(Abdullah & Schlattmann, 2016)
2. La presión de contacto no uniforme favorece “puntos calientes” y máximos térmicos localizados	Al incorporar presión no uniforme medida con película sensible, se reporta concentración de flujo de calor y máximos de temperatura en regiones de mayor presión, con mejor concordancia frente a medición/validación	Mayor probabilidad de “hot spots” por semiacople frecuente; deterioro no uniforme (vitricado localizado, zonas más gastadas)	(Jin et al., 2022)

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de
Servicio Público

3. Los acoples sucesivos producen acumulación térmica	Simulaciones/estudios térmicos con acoples consecutivos indican aumento progresivo de la temperatura superficial y por repetición efecto marcado del régimen repetitivo	En tráfico denso se incrementa el riesgo de sobret temperatura y degradación acelerada por repetición (paradas/arranques)	(Faidh-Allah, 2018)
4. El comportamiento térmico puede analizarse con modelos/simulación transitoria (FEM/numéricos)	Estudios numéricos y FEM describen distribución de temperatura y sensibilidad a condiciones de operación; también se emplean enfoques transitorios para representar disipación/calor	Permite justificar, en revisión, por qué operación severa eleva temperatura aun sin medición directa en la interfaz de fricción	(Meng & Xi, 2021); (Mouffak & Bouchetara, 2016)
5. El aumento de temperatura altera la fricción y se asocia con condiciones que promueven desgaste	Ensayos en materiales de embrague reportan variaciones del coeficiente de fricción y comportamiento tribológico dependiente del estado térmico	En flota: mayor probabilidad de patinamiento, olor a quemado, pérdida de eficiencia y necesidad de reemplazo temprano del kit	(Al-Karkhia et al., 2024)
6. El acople puede presentar respuestas dinámicas (judder) relacionadas con fricción y contacto	Modelos integrados térmico-dinámicos describen que el deslizamiento y características friccionales pueden excitar vibraciones tipo judder durante el acople	En servicio público: vibraciones en el arranque y acople irregular, con potencial aumento adicional de calor por micro-deslizamientos	(Gkinis et al., 2019)
7. El desgaste depende de variables operativas (temperatura,	Se reporta modelado del desgaste con variables operativas donde la	En flota: la vida útil del kit se explicaría mejor por severidad de uso	(Haramina et al., 2025)

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

deslizamiento, torque, tiempo de cierre) y puede modelarse	temperatura y parámetros de deslizamiento influyen en la tasa de desgaste	(semiacople, congestión, pendientes) que solo por kilometraje
8. Es factible estimar vida útil mediante enfoques de análisis acoplado y/o modelos	Estudios proponen estimación de vida útil con análisis de desgaste y campos asociados (enfoques acoplados)	Sustenta la propuesta (Kulkarni et al., 2021) de “indicadores de riesgo” y aproximaciones de vida útil para mantenimiento preventivo en servicio público
9. La degradación se refleja en cambios de microgeometría y correlaciones tribológicas	Serie de estudios documenta cambios en microgeometría superficial, desgaste y correlaciones entre fricción–desgaste–rugosidad bajo distintas condiciones de solicitud	En kits retirados: (Biczó et al., 2021); (Biczó & Kalácska, 2022); (Kalácska & Biczó, 2023) desgaste no uniforme, superficie pulida/vitrificada, cambios de rugosidad y evidencias de solicitud severa
10. Las propiedades termo-mecánicas del material de fricción influyen en su respuesta al calor	Se reportan modelos/estudios de propiedades térmicas y comportamiento micromecánico en compuestos para forros, relevantes para su resistencia al daño térmico	Explica por qué (Biczó et al., 2020) distintos materiales/forros responden diferente ante sobre calentamiento (vida útil y estabilidad tribológica)

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de
Servicio Público

Tabla 2. Evidencia bibliográfica sobre calentamiento + desgaste del kit de embrague y su efecto operativo

Componente del objetivo general	Variable/indicador cuantificable	Resultado reportado (evidencia)	Aporte directo al objetivo (umbrales, patrones, recomendaciones)	Fuente (cita APA)
Riesgo térmico por operación urbana y patinamiento	Temperatura crítica y rango de degradación	Se reporta que $\approx 150^{\circ}\text{C}$ puede considerarse temperatura crítica para material de fricción “normal” y que a $\approx 250\text{--}300^{\circ}\text{C}$ ocurre disminución marcada del coeficiente de fricción (fading).	Permite justificar umbrales de riesgo térmico (p. ej., “zona crítica” $\geq 150^{\circ}\text{C}$ y “zona severa” $\geq 250^{\circ}\text{C}$) para operación de servicio público.	(Meng & Xi, 2021)
Acumulación térmica por ciclos repetidos	Nº de acoples, tiempo de acople, temperatura superficial	En simulación/ensayo térmico se calcula el campo de temperatura durante 6 ciclos de acoples consecutivos	Sustenta que el riesgo no depende solo de “un evento” sino del historial de 6 ciclos , típico del tráfico denso	(Faidh-Allah, 2018)

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de

Servicio Público

				con 5 s de (patrón periodo de operativo). acople; se concluye que los acoples repetidos influyen fuertemente en la temperatura superficial.		
No-uniformidad de presión = puntos calientes (hotspots)	Error máximo de predicción distribución temperatura	de	Con un modelo de presión no uniforme validado con error máximo de temperatura se reduce 23,23% vs. “presión uniforme” y 34,03% vs. “desgaste uniforme” tras 15 s de patinamiento.	Justifica medir/estimar zonas de alta presión y su vínculo con sobrecalentamiento localizado , clave para “patrones de degradación”.	(Jin et al., 2022)	
Modelo térmico base (comparación de supuestos)	Distribución de temperatura bajo supuestos (presión uniforme vs. desgaste uniforme)	de	Se demuestra que los supuestos presión uniforme y	Sustenta la necesidad de reportar criterio de modelado al	(Abdullah & Schlattmann, 2016)	

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

			desgaste	proponer	
			uniforme	umbrales y	
			generan campos	comparaciones	
			térmicos	(evita	
			distintos	al conclusiones	
			modelar el	sesgadas).	
			embrague en		
			deslizamiento.		
Efecto de la temperatura ambiente/operativa en fricción	Coeficiente de fricción (μ) vs. temperatura	Experimentalmente, al aumentar la temperatura ambiente a 390 K , el μ promedio cae de 0,43 (a 300 K) a 0,30 (a 390 K) .	Evidencia directa para relacionar sobre calentamiento \rightarrow pérdida de capacidad de transmisión de par \rightarrow mayor patinamiento , y soportar recomendaciones operativas.	(Al-Karkhi et al., 2024)	
Desgaste/longevidad del forro bajo condiciones tipo “ciudad”	Pérdida volumétrica por desgaste; vida útil estimada	En modelado con ley de Archard y análisis multifísico, un patrón tipo “waffle” reporta –10,4% en pérdida volumétrica, –5,78% en desgaste máximo	Aporta resultados cuantitativos para patrones de degradación y soporte a recomendaciones de diseño/selección y mantenimiento preventivo.	(Chidambaram et al., 2021)	

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de

Servicio Público

			y +11,51% en vida útil promedio en condiciones tipo ciudad (enganches frecuentes).	
Modelado estadístico del desgaste (variables que lo explican)	Volumen desgastado acumulado; variables de entrada	Se presenta un modelo de regresión validado que explica el desgaste del forro en función de temperatura del embrague, velocidad inicial de deslizamiento, par, y tiempo de cierre, con ciclos repetitivos tipo operación real.	Sustenta la correlación térmico–desgaste y guía qué variables deben integrarse para proponer intervalos/prácticas (operación y mantenimiento).	(Haramina et al., 2025)
Cambios tribológicos medibles por uso (desgaste/superficie)	Rugosidad/microgeometría y desgaste bajo parámetros automotrices	Se reporta el efecto de parámetros de ensayo automotriz sobre microgeometría superficial y	Respalda que el desgaste no solo es “espesor”: también hay cambios de superficie que	(Biczó & Kalácska, 2022)

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

desgaste del afectan fricción y
material de forro ruido/vibración.
(serie “Part 2”).

Discusión

Los resultados de esta revisión indican que, en vehículos livianos de servicio público, el sobrecalefacción y el desgaste del kit de embrague se comportan como un proceso acoplado que se intensifica con el paso del tiempo de operación urbana y con la forma en que el conductor interactúa con el vehículo en el tráfico real. En términos prácticos, estos datos indican que el embrague no falla únicamente por “kilometraje”, sino por la severidad del servicio: arranques frecuentes, detenciones continuas, pendientes y, sobre todo, el mantenimiento de periodos de semiacople en contextos de congestión. Este patrón, además de ser técnico, se sostiene en relaciones sociales del trabajo cotidiano del transporte público (presión por tiempos de carrera, alta demanda, competencia por pasajeros), lo cual favorece hábitos de conducción que incrementan el deslizamiento y, por ende, la energía térmica disipada.

En el componente térmico, los hallazgos muestran que el calentamiento del embrague no se distribuye de manera homogénea. Esto se interpreta como evidencia de que, aunque los modelos con supuestos clásicos (presión uniforme o desgaste uniforme) describen tendencias generales, en la operación real tienden a aparecer zonas críticas donde la presión y el contacto se concentran y generan puntos calientes. Al compararlo con otras investigaciones, los resultados son consistentes con trabajos que señalan que la presión no uniforme conduce a máximos térmicos localizados, lo que explica por qué el daño suele observarse de forma irregular sobre la superficie del forro y no como un desgaste perfectamente parejo. En consecuencia, estos datos sostienen que la evaluación del riesgo térmico en servicio público debe centrarse en la posibilidad de picos térmicos y en la repetición de eventos, más que en un “promedio” de temperatura.

Los resultados también indican que la dinámica urbana favorece un fenómeno de acumulación térmica. En el tiempo, la repetición de acoples en ventanas cortas sugiere un ciclo operativo “calentar–disipar parcialmente–recalentar”, lo cual explica por qué en servicio público la degradación puede acelerarse aun sin cargas extremas de potencia. En comparación con estudios que modelan acoples sucesivos, esta revisión coincide en que la temperatura superficial se eleva progresivamente cuando los eventos se repiten, lo que vuelve más probable la degradación termo-mecánica del material de

Evaluación de los Efectos del Sobrecalefacción y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

fricción. Donde pueden aparecer diferencias entre investigaciones es en la magnitud del incremento térmico o en la zona donde se concentra el máximo, lo cual se atribuye a variaciones en geometría del embrague, ventilación, material del forro y condiciones de frontera consideradas en los modelos (p. ej., coeficientes de convección, rigidez del plato, deformaciones).

En el plano tribológico, estos datos indican que el sobrecalefacción se asocia con cambios desfavorables del desempeño friccional y con condiciones que favorecen el desgaste. Esta relación se interpreta como un ciclo de retroalimentación: cuando el embrague se calienta, el contacto puede volverse menos estable, aumenta la tendencia al patinamiento y eso incrementa todavía más el calor generado, acelerando el deterioro del forro. Al contrastarlo con otras investigaciones, el hallazgo es congruente con estudios experimentales que muestran variaciones del coeficiente de fricción bajo condiciones térmicas distintas. Sin embargo, la literatura también muestra que no todos los materiales responden igual; por eso, cuando aparecen diferencias entre estudios, la explicación más razonable se atribuye a la formulación del material de fricción, al procedimiento de ensayo, a la carga aplicada y a la historia térmica previa del componente.

Respecto al desgaste, los resultados sostienen que su explicación requiere variables operativas además del kilometraje. Estos datos indican que el desgaste está condicionado por la temperatura, el deslizamiento, el torque y el tiempo de cierre, lo cual permite entender por qué dos vehículos con recorridos similares pueden mostrar vidas útiles distintas del kit. En comparación con otras investigaciones que proponen modelos de desgaste y estimación de vida útil, esta revisión coincide en que el comportamiento es más dependiente de la energía disipada en el acople que del uso “lineal” por distancia recorrida. Las diferencias reportadas entre estudios pueden explicarse por la heterogeneidad metodológica: algunos trabajos usan tribómetros específicos, otros simulación numérica, y otros se basan en configuraciones de embrague y condiciones de operación no equivalentes; por ello, las tasas de desgaste o los umbrales de riesgo no siempre son transferibles de manera directa.

Finalmente, estos datos indican que la degradación se refleja en cambios de superficie y en síntomas operativos que el servicio público identifica con rapidez: vibraciones en el arranque, acople irregular, olor a quemado o pérdida de capacidad de transmisión. Esta revisión interpreta que esas manifestaciones son señales de un estado termo-tribológico desfavorable y no solo “fallas aisladas”. Desde una perspectiva aplicada, esta discusión sugiere que la prevención debe centrarse en reducir la severidad del semiacople y mejorar la disipación térmica (mantenimiento y selección adecuada del

Evaluación de los Efectos del Sobrecalentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

kit), pero también en el componente humano del sistema (conducción), porque el hábito de operación es un determinante del riesgo.

Conclusiones

La evidencia sintetizada en la revisión indica que el sobrecalentamiento y el desgaste del kit de embrague (disco, plato de presión y collarín) afectan de manera directa el desempeño operativo del tren motriz, debido a que la generación de calor por deslizamiento y la evolución tribológica del material de fricción modifican la capacidad de transmisión de par y favorecen síntomas como patinamiento y vibraciones durante el acople. En ese sentido, los hallazgos respaldan la validez del objetivo general al mostrar que la relación temperatura–desgaste–desempeño es consistente y explicable bajo un enfoque cuantitativo.

Con relación a la caracterización térmica y de uso, los resultados revisados sostienen que el calentamiento del embrague en operación real no se distribuye uniformemente y que la presencia de presiones de contacto no uniformes concentra máximos térmicos (“hot spots”). Esto implica que los eventos de sobrecalentamiento deben interpretarse como picos/localizaciones críticas más que como una temperatura promedio, lo cual orienta el establecimiento de umbrales operativos de riesgo térmico basados en la repetición de acoples, el tiempo de semiacoplamiento y la acumulación térmica bajo tráfico urbano severo.

Respecto a la cuantificación del desgaste y cambios físico-mecánicos/tribológicos, la revisión confirma que el desgaste del forro y la degradación del sistema dependen de variables operativas como temperatura, condiciones de deslizamiento y carga, y se manifiestan en patrones de degradación superficial y modos de falla típicos (p. ej., desgaste no uniforme y alteraciones de superficie por sollicitación térmica). Asimismo, la evidencia respalda que la respuesta del coeficiente de fricción varía con el estado térmico y con el historial de uso del material, lo cual justifica evaluar el kit considerando propiedades tribológicas y no únicamente el kilometraje.

En cuanto a la correlación entre estado térmico–de desgaste y desempeño, los hallazgos permiten sostener que el deterioro del embrague se asocia con pérdida de eficiencia de transmisión, incremento de patinamiento y aparición de síntomas NVH durante el acople. Por tanto, el desempeño del tren motriz puede emplearse como indicador indirecto del estado del kit, apoyando la formulación de relaciones cuantitativas entre severidad de uso, degradación y fallas prematuras para la toma de decisiones en mantenimiento.

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de
Servicio Público

derivado únicamente de los resultados y su discusión, se concluye que es viable y relevante proponer recomendaciones de operación y mantenimiento basadas en severidad: reducción del semiacople prolongado en tráfico y pendientes, vigilancia de síntomas tempranos (patinamiento y vibración), e inspecciones enfocadas en evidencias de daño térmico y patrones de desgaste. En consecuencia, los intervalos de reemplazo deberían definirse en función del riesgo térmico y patrones de degradación asociados al tipo de servicio, más que por intervalos fijos basados solo en distancia recorrida.

Referencias

- Abdullah, O. I., & Schlattmann, J. (2016). Thermal behavior of friction clutch disc based on uniform pressure and uniform wear assumptions. *Friction*, 4, 228–237. <https://doi.org/10.1007/s40544-016-0120-z>.
- Al-Karkhia, A. A. H., Taha, H. A., & Al-Jubouri, M. A. (2024). Experimental investigation of thermal effect on the wear and friction coefficient of clutch composite material. *Tribology in Industry*, 46(1), 111–122. <https://doi.org/10.24874/ti.1465.03.23.12>.
- Biczó, R., & Kalácska, G. (2022). Effects of Automotive Test Parameters on Dry Friction Fiber-Reinforced Clutch Facing Surface Microgeometry and Wear—Part 2. *Polymers*, 14(9), 1757. <https://doi.org/10.3390/polym14091757>.
- Biczó, R., Kalácska, G., & Mankovits, T. (2020). Micromechanical Model and Thermal Properties of Dry-Friction Hybrid Polymer Composite Clutch Facings. *Materials*, 13(20), 4508. <https://doi.org/10.3390/ma13204508>.
- Biczó, R., Kalácska, G., & Mankovits, T. (2021). Effects of Automotive Test Parameters on Dry Friction Fiber-Reinforced Clutch Facing Surface Microgeometry and Wear—Part 1. *Polymers*, 13(22), 3896. <https://doi.org/10.3390/polym13223896>.
- Chen, J., Yu, J., & Gong, Y. (2023). A New Multi-Physics Coupled Method for the Temperature Field of Dry Clutch Assembly. *Applied Sciences*, 13(20), 11165. <https://doi.org/10.3390/app132011165>.
- Faidh-Allah, M. H. (2018). The Temperature Distribution in Friction Clutch Disc under Successive Engagements. *Tribology in Industry*, 40(1), 92–99. <https://doi.org/10.24874/ti.2018.40.01.08>.
- Gkinis, T., Rahmani, R., & Rahnejat, H. (2019). Integrated Thermal and Dynamic Analysis of Dry Automotive Clutch Linings. *Applied Sciences*, 9(20), 4287. <https://doi.org/10.3390/app9204287>.
- Gong, Y., Wang, P., Ge, W., & Yi, Y.-B. (2019). Numerical Simulation and Mechanism Analysis on the Concave Deformation of Automotive Dry Clutch Pressure Plate. *Applied Sciences*, 9(23), 5017. <https://doi.org/10.3390/app9235017>.
- Grzelczyk, D., & Awrejcewicz, J. (2015). Wear Processes in a Mechanical Friction Clutch: Theoretical, Numerical, and Experimental Studies. *Mathematical Problems in Engineering*, 725685. <https://doi.org/10.1155/2015/725685>.

Evaluación de los Efectos del Sobre calentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de
Servicio Público

- Haramina, K., Škugor, B., Hoić, M., Kranjčević, N., Deur, J., & Tissot, A. (2025). Modeling of Dry Clutch Wear for a Wide Range of Operating Parameters. *Applied Sciences*, 15(15), 8150. <https://doi.org/10.3390/app15158150>.
- Hoić, M., Deur, J., Tissot, A., & Troskot, I. (2024). Redesign of a Disc-on-Disc-Type CNC Tribometer Targeted at Dry Clutch Friction Plate Wear Characterization. *Machines*, 12(1), 14. <https://doi.org/10.3390/machines12010014>.
- Hoić, M., Hrgetić, M., & Deur, J. (2022). Design of a Disc-on-disc-type CNC Tribometer Targeted at Dry Clutch Friction Plate Wear Characterization. *International Journal of Automotive Technology*, 23, 55–71. <https://doi.org/10.1007/s12239-022-0005-2>.
- Hoić, M., Miklik, A., Kostelac, M., Deur, J., & Tissot, A. (2021). Analysis of the Accuracy of Mass Difference-Based Measurement of Dry Clutch Friction Material Wear. *Materials*, 14(18), 5356. <https://doi.org/10.3390/ma14185356>.
- Jin, Y., Chen, L., & Cheng, C. (2022). Thermal behavior of friction discs in dry clutches based on a non-uniform pressure model. *Case Studies in Thermal Engineering*, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101895>.
- Kalácska, G., & Biczó, R. (2023). Effects of Automotive Test Parameters on Dry Friction Fiber-Reinforced Clutch Facing Surface Microgeometry and Wear—Part 3: Tribological Parameter Correlations. *Polymers*, 15(5), 1255. <https://doi.org/10.3390/polym15051255>.
- Kulkarni, K. M., Mahale, B. C., Kannan, K., & Pawar, S. N. (2021). Wear Based Lifetime Estimation of a Clutch Facing using Coupled Field Analysis. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 18, 9292–9304. <https://doi.org/10.15282/ijame.18.3.2021.11>.
- Meng, F., & Xi, J. (2021). Numerical and Experimental Investigation of Temperature Distribution for Dry-Clutches. *Machines*, 9(9), 185. <https://doi.org/10.3390/machines9090185>.
- Mouffak, A., & Bouchetara, M. (2016). Transient thermal behavior of automotive dry clutch discs by using Ansys software. *Mechanika*, 22(6). <https://doi.org/10.5755/j01.mech.22.6.17277>.
- Yan, Z., Li, H., Lei, H., Xie, M., & Wang, L. (2023). Study of the Judder Characteristics of Friction Material for an Automobile Clutch and Test Verification. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 36, 53. <https://doi.org/10.1186/s10033-023-00864-y>.

Evaluación de los Efectos del Sobrecalentamiento y Desgaste de Kits de Embrague en Vehículos Livianos de Servicio Público

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|