

GREENRIDE

HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DEL

MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE EMISIONES EN BUSES DIESEL EN LA

TERMINAL SALITRE

Juan Diego Rubiano Saenz, Julián David Orjuela Parada



Ingeniería de sistemas, Facultad de ingeniería

Universidad EAN

Bogotá D.C

2025

Tabla de contenido

Tabla de contenido	2
Lista de tablas	5
Lista de figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Problema	11
Justificación	13
Marco Teórico	14
Comprensión del Estado Actual de Filtros de Partículas Diésel y Catalizadores	14
Factores que Afectan la Eficiencia de Filtros y Catalizadores	16
Impacto de la Calidad del combustible en la Eficiencia de los Sistemas de Control de Emisiones	17
Consecuencias de la Contaminación	17
Medidas preventivas	18
Implementación de Estándares de Emisiones Más Estrictos	18
Estimación del Impacto Ambiental del Mantenimiento Predictivo	19
Estudio de Caso sobre Implementación de Mantenimiento Predictivo en Flotas de Vehículos Diésel	20

Beneficios Económicos y Ambientales del Mantenimiento Predictivo en Flotas de Autobuses Diésel.....	21
Comparación del Mantenimiento Predictivo con el Mantenimiento Correctivo y Preventivo	22
Análisis de requerimientos	23
Computador.....	23
Lenguajes	23
IDE	24
Base de datos	24
Adicionales.....	24
Restricciones	24
Política.....	24
Económicas	24
Social	25
Tecnológicas.....	25
Legal.....	25
Metodología	26
Desarrollar un prototipo funcional de la aplicación web en un entorno controlado, evaluando su usabilidad y rendimiento.	26
Gestión del proyecto y documentación técnica:	26
Diseñar una interfaz web interactiva	26
Integración de módulos principales:	27
Definir aspectos funcionales y no funcionales de la plataforma web	27

Clasificación de requerimientos:	28
Funcionales:	28
No funcionales:	28
Tabla de costos	28
Costos indirectos	28
Costos directos	32
Avances de resultados	35
Conclusiones	41
Síntesis de los resultados:	41
Aspectos novedosos del proyecto:	42
Cumplimiento de los objetivos:	42
Metodología y análisis realizados:	43
Limitaciones del proyecto	43
Proyecciones y posibilidades futuras:	44
Referencias	45

Lista de tablas

Tabla 1	29
Tabla 2	30
Tabla 3	30
Tabla 4	31
Tabla 5	33
Tabla 6	34
Tabla 7	35

Lista de figuras

Figura 1	35
Figura 2	36
Figura 3	36
Figura 4	37
Figura 5	38
Figura 6	39
Figura 7	39
Figura 8	40
Figura 9	40
Figura 10	40

Resumen

Se desarrolla una aplicación web para la gestión del mantenimiento predictivo en buses diésel que operan en la Terminal de Transporte Salitre, con el fin de reducir sus emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia operativa. Esta iniciativa surge como respuesta al grave problema de calidad del aire en Bogotá, especialmente en zonas de alto tránsito como esta terminal, donde los buses intermunicipales con motores diésel son una de las principales fuentes de emisiones de material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx). El proyecto propone el uso de herramientas tecnológicas para monitorear el estado de componentes críticos como los sistemas de filtrado de partículas diésel (DPF) y los catalizadores, cuyo mal funcionamiento incrementa significativamente la contaminación.

En el documento se describe el contexto ambiental y normativo del país, poniendo de manifiesto el trabajo que han realizado diversos entes estatales y el apoyo que han brindado organismos internacionales para mitigar la contaminación y tratar de inducir a realizar un modelo de desarrollo sostenible; así como el planteamiento del problema en el que se hace hincapié sobre la necesidad de limpiar los filtros y catalizadores y la importancia para la disminución de la emisión provocada por los buses intermunicipales que operan en la Terminal de Transporte El Salitre.

El documento, establece objetivos con relación al desarrollo de una herramienta tecnológica para enfocar dicha problemática y pone de relieve la justificación del proyecto (aspectos ambientales, sociales y económicos), evidenciando la pertinencia y el impacto que se busca con la implementación de este proyecto.

Palabras clave: *mantenimiento predictivo, buses diésel, material particulado, óxidos de nitrógeno, aplicación web, gestión ambiental.*

Abstract

This study presents the design and development of a web application for predictive maintenance management in diesel buses operating at the Salitre Transport Terminal, with the aim of reducing their pollutant emissions and improving operational efficiency. This initiative is a response to the serious air quality problem in Bogotá, especially in high-traffic areas such as this terminal, where intercity buses with diesel engines are one of the main sources of particulate matter (PM) and nitrogen oxide (NOx) emissions. The project proposes the use of technological tools to monitor the condition of critical components such as diesel particulate filters (DPF) and catalytic converters, whose malfunction significantly increases pollution.

The document describes the country's environmental and regulatory context, highlighting the work conducted by various state entities and the support provided by international organizations to mitigate pollution and promote a sustainable development model, as well as the problem statement, which emphasizes the need to clean filters and catalytic converters and the importance of reducing emissions from intercity buses operating at the El Salitre Transport Terminal.

The document establishes objectives related to the development of a technological tool to address this problem and highlights the justification for the project (environmental, social, and economic aspects), demonstrating the relevance and impact sought with the implementation of this project.

Keywords: *predictive maintenance, diesel buses, particulate matter, nitrogen oxides, web application, environmental management.*

Introducción

En años recientes, el deterioro del medioambiente a escala global ha ido en aumento como resultado del acelerado crecimiento urbano, del incremento de la demanda energética y del consumo excesivo de los combustibles fósiles (Rossbach, 2024). De esta manera, han dado lugar a problemáticas como el deterioro progresivo de la calidad del aire, lo que resulta un indicio claro de la salud pública y del medioambiente y, en definitiva, del clima del planeta. En este aspecto, Colombia no ha sido una excepción, ya que el país no escapa a la exposición ante diversos riesgos climáticos los cuales provocan un impacto negativo sobre el crecimiento económico lento del país y atenúan la progresiva reducción de la pobreza (World Bank Group [WBG], 2024). En función de tal situación desfavorable, el Estado colombiano ha manifestado la necesidad de avanzar hacia un modelo de desarrollo más resiliente, sostenible y de bajo carbono. Como parte de esta transición, en 2024 el directorio ejecutivo del Banco Mundial aprobó un proyecto que respalda los esfuerzos del país para disminuir las emisiones contaminantes y gestionar de forma más eficiente sus recursos naturales (WBG, 2024). Esta línea de acción también ha estado acompañada de alianzas estratégicas, como la adhesión del Ministerio de Transporte en 2020 a la Alianza Global MobiliseYourCity, cuyo objetivo es preparar a ciudades y países para implementar políticas de movilidad sostenible y enfrentar la crisis climática de manera conjunta (Ministerio de Transporte [MinTransporte], 2020)

A nivel interno, entidades como el Departamento Nacional de Planeación (DNP) han promovido herramientas digitales orientadas a la gestión climática, como la plataforma +Clima, lanzada en 2024, la cual permite monitorear los compromisos asumidos por Colombia en el marco del Acuerdo de París y otras iniciativas de acción climática (Departamento nacional de planeación [DNP], 2024) Asimismo, en 2025 el Gobierno Nacional reafirmó su compromiso

internacional al participar en el Diálogo de Petersberg sobre el Clima, donde la ministra de ambiente, Lena Estrada, reiteró las prioridades del país en temas como financiamiento climático, balance global y actualización de las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (Ministerio de Ambiente [MinAmbiente], s.f.)

En el centro del país, más específicamente en la ciudad de Bogotá, puede observarse una de las preocupaciones más críticas que se presenta actualmente en el ámbito ambiental. En efecto, el acelerado crecimiento de la población y el aumento de la flotilla vehicular han llevado al deterioro de la calidad del aire. El transporte ha sido un factor determinante en este escenario. En este contexto, los buses intermunicipales que ingresan y egresan de la Terminal de Transporte El Salitre son una de las fuentes más importantes de emisión de material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx), contaminantes que afectan y perjudican la salud de la población y que además contribuyen a hacer más complejo el cambio climático.

Objetivo general

Diseñar una aplicación web para la gestión del mantenimiento predictivo en buses diésel en la terminal Salitre.

Objetivos específicos

- Desarrollar un prototipo funcional de la aplicación web en un entorno controlado, evaluando su usabilidad y rendimiento.
- Diseñar una interfaz web interactiva que permita el registro, el monitoreo histórico y la simulación del estado de los componentes críticos del sistema de emisiones, integrando alertas predictivas basadas en datos reportados manualmente como kilometraje, consumo de combustible y mantenimientos realizados.

- Definir aspectos funcionales y no funcionales de la plataforma web, incluyendo las funcionalidades necesarias para el registro manual de datos, el monitoreo histórico, la predicción de mantenimiento, la generación de alertas y la visualización de información operativa.

Problema

El deterioro ambiental global es una consecuencia directa de la explotación desmedida de los recursos naturales y la alteración de los ecosistemas debido a diversas actividades humanas, especialmente en los países industrializados. Estas prácticas han incrementado las concentraciones de gases de efecto invernadero, lo que ha ocasionado fenómenos como el aumento del nivel de los océanos y un incremento en la temperatura promedio global. Por lo tanto, en términos de lo anterior, tanto los poderes públicos como la propia sociedad han instado a las empresas impulsándolas a implantar medidas eficientes para la preservación del entorno ambiental. En el caso de los motores diésel actuales, los catalizadores y los filtros de partículas son primordiales, porque permiten reducir las emisiones de contaminantes como el material particulado (PM) o bien los óxidos de nitrógeno (NOx). Sin embargo, un mal mantenimiento o el no llevarlo a cabo, puede provocar fallas en su funcionamiento, disminuir el rendimiento del motor y aumentar considerablemente la liberación de contaminantes a la atmósfera (Farrow et al., 2021)

La acumulación de residuos de aceite y hollín en los motores es una de las principales causas de la obstrucción de los filtros de partículas. Este problema se agrava con el uso de combustibles de baja calidad y a prácticas de mantenimiento deficientes. Además, la falta de programas de formación adecuados para conductores y personal de mantenimiento en técnicas sostenibles agrava la situación, ya que no se implementan las medidas preventivas necesarias

para garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas de control de emisiones. (Sommerset, 2022)

La importancia de abordar esta problemática es evidente al considerar las graves consecuencias ambientales y de salud pública asociadas. Las emisiones de PM y NOx están vinculadas a enfermedades respiratorias y cardiovasculares, afectando especialmente a las poblaciones vulnerables en áreas urbanas densamente pobladas. (Unión de Científicos Conscientes [UCS], 2023). La contaminación del aire contribuye al deterioro de la calidad de vida y al cambio climático, generando costos económicos y sociales significativos.

En el contexto urbano de Bogotá, la contaminación atmosférica ha aumentado significativamente, en gran parte debido al sector transporte. Los motores diésel, comúnmente utilizados en buses intermunicipales y vehículos de carga, emiten contaminantes perjudiciales como material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NOx). Para reducir estas emisiones los motores diésel modernos están equipados con catalizadores y filtros de partículas diésel (DPF). Sin embargo, cuando el mantenimiento de estos sistemas es inadecuado, hay la posibilidad de que se produzcan fallos de funcionamiento de los motores, lo que llevaría a una disminución de la eficiencia de este y, por consiguiente, a un incremento de las emisiones contaminantes. El Terminal de Transporte El Salitre es una zona fundamental en la circulación de los buses intermunicipales, pues representa la capacidad de poder llegar a los distintos destinos de la ciudad de Bogotá, como también conectar Bogotá con el resto del país. Existe un mantenimiento deficiente de los sistemas de control de emisiones, especialmente en los catalizadores y filtros DPF (filtro de partículas) lo cual incrementa el impacto negativo sobre la calidad del aire en Bogotá, dado que la retribución negativa no se determina solamente por el efecto del DPF, sino que aún se mantiene la mala calidad del aire en la ciudad y que, por tanto, trasciende en la salud

de las personas que habitan este espacio; por otro lado, la repercusión en la imagen que se tiene de la ciudad de Bogotá, donde se exhibe de que es una ciudad con un tipo de vida en cuanto al medioambiente sostenible. (Alcaldía de Bogotá, s.f)

Justificación

La población de Bogotá ha mostrado cada vez mayor preocupación por los altos niveles de contaminación en la ciudad. En este sentido, las autoridades han puesto en marcha diferentes estrategias como el Plan de Acción Climática de Bogotá 2020-2050, cuyo fin es el de rebajar la liberación de gases que contribuyen al efecto invernadero en un 50% para el año 2030 y la búsqueda de la neutralidad en carbono para el año 2050 (Secretaría Distrital de Ambiente [SDA], 2021). Sin embargo, uno de los principales orígenes de la contaminación, como lo es el transporte intermunicipal, debe ser abordado para la consecución de dicho objetivo.

Una salida posible para afrontar esta problemática es la implementación de sistemas de mantenimiento predictivo de los filtros de partículas y los catalizadores de los buses. Esta medida no requiere modificaciones significativas en la infraestructura vehicular y, de paso, colabora con la reducción de emisiones contaminantes.

Los datos demuestran que cuando se aplica el mantenimiento predictivo, los motores funcionan con un nivel de eficiencia superior, se reducen los costes operativos y se reduce el impacto ambiental (Rojas, s.f). Sin embargo, a pesar de todas estas ventajas, en la práctica la introducción en los buses intermunicipales de este tipo de mantenimiento es extremadamente escasa, lo que se debe al escaso interés por parte de conductores y propietarios de buses, así como a la escasa investigación relacionada con su puesta en práctica para reducir de forma efectiva las emisiones e incrementar la capacidad de los vehículos.

Dicho esto, además de los aspectos técnicos, también podemos encontrar implicaciones directas para la salud pública, ya que la exposición crónica a la contaminación por el material particulado (PM) y los óxidos de nitrógeno (NOx) ha sido incluida dentro de la etiología del incremento de enfermedades respiratorias y/o cardiovasculares entre las poblaciones más vulnerables (como niños, ancianos y enfermos con condiciones patológicas previas) (UCS, 2023). Por este motivo, la disminución de emisiones en lugares críticos de tránsito, como puede ser la Terminal de Transporte El Salitre, contribuiría a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos.

En conclusión, este estudio tiene interés medioambiental y social, dado que intenta promover el mantenimiento predictivo de los vehículos a través de una herramienta tecnología que permite simular y visibilizar los beneficios que produce el realizarlo, siendo evidente la posibilidad de obtener beneficios como: la reducción de emisiones, el incremento en la vida de los motores, así como un aumento en la eficiencia de la operación. La combinación de las metodologías servirá para generar una solución digital replicable desde otros contextos y que al fin pueda ser percibida como una solución de sostenibilidad para el mismo sistema de transporte intermunicipal de Bogotá.

Marco Teórico

Comprensión del Estado Actual de Filtros de Partículas Diésel y Catalizadores

En Bogotá, el tema de la pureza del aire ha escalado a niveles preocupantes, lo que hace imperativo revisar y mejorar las tecnologías que regulan las emisiones de los vehículos, sobre todo en el ámbito del transporte público y el sistema de transporte que conecta la ciudad con otros municipios. Consciente de este desafío, la administración local ha puesto en marcha acciones como la adaptación de filtros en los buses de Transmilenio. En el año 2015, se hizo

público el plan de equipar 730 vehículos de las primeras dos fases del sistema con estos filtros, buscando así recortar en 25 toneladas anuales la cantidad de partículas contaminantes liberadas.

Ahora bien, en el año 2017 se evidenció que únicamente se habían instalado filtros en nueve buses. Adicionalmente, tres de ellos presentaron fallas en el motor y un mayor consumo de combustible (Cuevas, 2017). A pesar de estas dificultades, estudios recientes muestran que la calidad del aire en Bogotá ha mejorado de manera significativa gracias a la implementación de tecnologías de control de emisiones (Riaño, 2023), lo que deja claro que las tecnologías para controlar las emisiones pueden hacer mucho por limpiar el aire de la ciudad. En cambio, para los buses intermunicipales que andan por la Terminal Salitre, es necesario revisar cómo están los filtros de partículas diésel (DPF) y los catalizadores. Es necesario recopilar información analizando el estado físico de los escapes, sacando muestras de hollín para ver qué emisiones tienen en la cotidianidad y revisando a fondo los manuales técnicos para ver el funcionamiento de los DPF y de los catalizadores. En este sentido, también merece especial cuidado realizar la revisión de las normas ambientales, como la Resolución 762 de 2022 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y de la Resolución 1304 de 2012 de la Secretaría Distrital de Ambiente, ya que estas delimitan los límites de emisiones que deben cumplir los vehículos diésel en Bogotá.

La Terminal de Transporte Salitre, como nodo central de transporte intermunicipal, se establece como un punto de estudio estratégico debido a la alta concentración de buses y contribución a las emisiones vehiculares en la ciudad. La caracterización del estado actual, por lo tanto, permitirá establecer una línea base para evaluar la efectividad de futuras estrategias de mantenimiento y mejora tecnológica.

Factores que Afectan la Eficiencia de Filtros y Catalizadores

La efectividad de los filtros de partículas y los catalizadores no es la misma y puede estar influenciada por diferentes factores externos. Para el diseño de estrategias de mantenimiento adecuadas, es fundamental identificar los principales factores que determinan dicha eficiencia. El análisis de series de datos históricos de mantenimiento resulta una herramienta clave para la comprensión de las pautas de fallos y desgaste de los sistemas de captura de emisiones. El historial del vehículo, en el que se recogen datos como el tipo de motor, el número de kilómetros recorridos y las rutas que realiza, también tiene un peso importante, ya que las condiciones de operación en las que se encuentra el vehículo y los tipos de servicio realizados pueden influir en el rendimiento de los filtros de partículas y catalizadores (Fuso, 2020). Asimismo, el estado visual de los elementos que los constituyen puede ser valorado a través de las inspecciones técnicas con la posibilidad de que éstas recojan pruebas de deterioros, obstrucción o daños que comprometan su rendimiento (Propartes, 2020). La calidad del combustible diésel utilizado, condiciones de conducción (por ejemplo, el tráfico urbano de Bogotá) y tipo de mantenimiento aplicado (correctivo, preventivo) son variables que pueden determinar el rendimiento de los DPFs y catalizadores. Se documenta la falta de un mantenimiento preventivo aplicado (así lo recogen los manuales técnicos, como el del (California Council on Diesel Education and Technology [CCDET], 2016). Blogs especializados en mantenimiento de flotas (Pilgrim, 2024), puede acelerar el deterioro de estos sistemas y reducir su capacidad para controlar las emisiones. Por otro lado, un mantenimiento correctivo reactivo, que solo actúa cuando se presenta un fallo, puede resultar costoso e ineficiente a largo plazo. (Redacción Moveris, 2025).

Impacto de la Calidad del combustible en la Eficiencia de los Sistemas de Control de Emisiones

Las características del combustible diésel representan un aspecto fundamental que se traduce en una correcta operatividad, así como en la durabilidad de los sistemas de control de las emisiones de los motores de combustión interna. Una serie de elementos inherentes a los combustibles tienen una acción directa sobre la eficiencia de algunos dispositivos como los filtros de partículas diésel (DPF), catalizadores, entre otros. En las siguientes líneas se muestran los principales componentes y propiedades del combustible para garantizar la correcta operación de los sistemas de control de emisiones.

Consecuencias de la Contaminación

La contaminación asociada al diésel puede dar origen a los siguientes efectos:

Congestión de filtros: Los contaminantes del combustible que pueden ser obtenidos de la explotación de los operativos para el tratamiento de combustibles pueden saturar los filtros de combustibles que llevan el combustible al motor, provocando así la reducción de potencia.

Desgaste de componentes: Las partículas abrasivas más el agua provocar abrasión y corrosión de componentes críticos del conjunto de la inyección, incrementando las probabilidades de que las fallas que pueden darse den lugar a reparaciones costosas.

Aumento de emisiones: Una mala combustión en detrimento de la contaminación del combustible puede incrementar la emisión de contaminantes que (no) protegen el medio ambiente, incluso en último lugar, con la (no) ruptura de normas de emisiones del escape de los gases. (Thadeu, 2021).

Medidas preventivas

Con el objetivo de reducir los efectos nocivos de los contaminantes en el combustible diésel se recomienda la aplicación de las siguientes prácticas:

Filtración efectiva: Emplear sistemas de filtración de calidad que permitan eliminar las partículas sólidas y el agua que pudiera haber en el combustible de forma eficiente antes de que éste entre al sistema de inyección.

Mantenimiento periódico: Mantener periódicamente el sistema de combustible, lo que incluye la limpieza o el reemplazo de filtros y la verificación de componentes claves para detectar signos de desgaste o corrosión.

Control de calidad del combustible: Desarrollar programas de control de calidad del combustible que detecten y manejen la presencia de contaminantes antes de que generen una avería del sistema de inyección o motor importante. (Moreno, 2024).

La aplicación de las medidas planteadas puede mejorar la eficiencia del motor, mejorar la longevidad de los componentes del sistema de combustible y reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Implementación de Estándares de Emisiones Más Estrictos

En el año 2019, Colombia dio un gran paso, pues se aprobó la Ley 1972 que establece que, a partir del año 2023, la importación de vehículos con motor diésel deberá realizarse con la homologación del estándar euro VI o con otro más restrictivo; este último logra, por medio de la aplicación de medidas específicas, alcanzar los objetivos de reducción de la emisión de NOx y PM de forma importante y lo cual, indiscutiblemente, no se puede lograr sin el uso de un combustible diésel bajo en azufre. La aplicación de esta normativa supondrá un avance importante en la mejora de la calidad del aire y de la salud pública.

Por su parte el regulador colombiano también llegó a avanzar con el tema de la reducción del azufre en el diésel, pero, la calidad que tendría que comenzar a circular y la disponibilidad de ella dependen de la zona del país, lo que lleva a que sea importante pensar en programas que controlarían la calidad del combustible que llega a las flotas de buses intermunicipales.

Estimación del Impacto Ambiental del Mantenimiento Predictivo

La valoración del efecto ambiental del mantenimiento predictivo es un punto clave en la justificación de su uso y se basa en la comparación de la información de emisiones en el tiempo actual con la información producida en la simulación generada en el sistema de mantenimiento predictivo. El propósito de dicha estimación es determinar la mejora de la calidad del aire de la capital. Para ello, se puede obtener información desde la recogida de datos realizada en el momento de observación y muestreo, así como de los factores de emisión reales para maquinaria pesada en el contexto del Área Metropolitana (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2019). Asimismo, la simulación permitirá proyectar escenarios futuros de distintas estrategias de mantenimiento para cuantificar la disminución de las emisiones que se podría alcanzar mediante el mantenimiento predictivo en comparación con las formas de mantenimiento habituales (Cooper et al., s.f). Esta estimación deberá considerar distintos contaminantes, como material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) y otros gases de escape relevantes para la calidad del aire urbano (MinAmbiente,s.f). Además del efecto en la calidad del aire, asimismo, se puede estimar el impacto y el ahorro energético, junto con la eficiencia en el uso de la energía dentro del sector transporte. (Rincón educativo, s.f). considerando que un mantenimiento optimizado de los sistemas de control de emisiones puede mejorar el rendimiento del motor y reducir el consumo de combustible (Eficiencia Energética). La movilidad ambientalmente sostenible es uno de los objetivos del actual Estado de las Políticas de Transporte (Área Metropolitana del

Valle de Aburrá, 2019), y el mantenimiento predictivo puede ser una herramienta adecuada para la consecución de dicho objetivo.

La comparación de escenarios de emisiones antes y después de la implementación del mantenimiento predictivo es muy importante para definir su idoneidad ambiental. Se ha evidenciado que implementar una estrategia de mantenimiento orientada a la prevención puede reducir hasta en un 20-30% las emisiones de NOx y de partículas en suspensión (European environment agency [EEA], 2022).

Estudio de Caso sobre Implementación de Mantenimiento Predictivo en Flotas de Vehículos Diésel

La adopción de estrategias de mantenimiento predictivo ha generado notorias mejoras en la eficacia operativa y en la disminución de costos en distintas empresas de diversa índole. Por ejemplo, en la estación de transferencia y recibo del campo Moriche de Mansarovar Energy Colombia Ltd., se estableció un plan de mantenimiento predictivo enfocado en el análisis y diagnóstico de fallas en actores mecánicos o eléctricos en un 40%. Se propició el diagnóstico de fallas potenciales antes de su ocurrencia, optimizando la disponibilidad y confiabilidad de los activos, lo cual conllevó a una reducción una reducción de costos operativos y una mejora en la eficiencia de los procesos (Gutierrez et al, 2013).

Del mismo modo, otro caso emblemático es el de la empresa SAVAR en Ventanilla, donde se elaboró un plan de un mantenimiento predictivo a partir del análisis de aceite, obteniendo como resultado el incremento de la disponibilidad de tractocamiones SINOTRUK C7H. Dicha estrategia permitió aumentar la disponibilidad media de la flota de un 86% en 2021 a un 91% en 2022, superando el estándar corporativo del 90%. La implementación de un mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite permitió el diagnóstico anticipado de

fallas, reduciendo tiempos de inactividad y optimizando la programación de mantenimientos (Quispe et al, 2023).

Estos estudios de caso evidencian que la adopción de mantenimiento predictivo en flotas de vehículos diésel puede conducir a mejoras en la disponibilidad, reducción de costos y optimización de operaciones, aspectos altamente relevantes para el contexto de los buses intermunicipales en Bogotá.

Beneficios Económicos y Ambientales del Mantenimiento Predictivo en Flotas de Autobuses Diésel

La introducción de las técnicas de mantenimiento predictivo en los sistemas de las flotas de autobuses diésel no solo mejora el rendimiento de las operaciones, sino que también puede provocar la obtención de importantes beneficios medioambientales y resultados económicos. La observación de los sistemas mecánicos evita la posible avería de los diversos elementos y reduce los gastos de reparaciones no previstas, evitando la inactividad de los vehículos.

Un mantenimiento adecuado también supone asegurar que los sistemas de control de emisiones, como los filtros de partículas diésel o los catalizadores, estén funcionando, contribuyendo a la reducción de la contaminación.

El cambio de flotas por vehículos más eficientes y menos contaminantes también forma parte como parte de las estrategias a implantar para la mejora del transporte público. Como ejemplo podemos señalar la aprobación en Jerez de la Frontera, en Andalucía de una propuesta de compra de 25 autobuses de la marca Mercedes-Benz adaptados para personas con movilidad reducida y con contrato para el servicio de mantenimiento continuo, buscando la mejora de la calidad del servicio público. (Jerez, 2024).

La puesta en práctica del mantenimiento predictivo en flotas de buses diésel podría contribuir a disminuir las emisiones de gases contaminantes con lo que ello podría favorecer la calidad del aire en las ciudades y, con ello, la salud de las personas. En segundo lugar, la optimización de los planes de mantenimiento permite alargar la vida útil de los vehículos, disminuir el consumo de carburante y producir importantes ahorros a las empresas operadoras. La introducción de estos epígrafes en la fundamentación teórica da una idea más general de la práctica y de los beneficios del mantenimiento predictivo de flotas de vehículos diésel que justifican la conveniencia y viabilidad de su práctica en los buses intermunicipales de la ciudad de Bogotá

Comparación del Mantenimiento Predictivo con el Mantenimiento Correctivo y Preventivo

A lo largo de la presentación se comparará el mantenimiento predictivo con el mantenimiento preventivo y el correctivo; el análisis será tanto cualitativo como cuantitativo, dado que existe suficiente información sobre estas técnicas. Por un lado, el análisis cualitativo debe indagar en las ventajas y beneficios de aplicar el mantenimiento predictivo, tales como la reducción de costos a largo plazo, el incremento de la vida útil de los componentes, la mayor fiabilidad de la flota y la disminución del tiempo de inactividad de los buses. En este sentido, el análisis cualitativo también se complementa con el cuantitativo, ya que este último compara los costos de cada tipo de mantenimiento, así como los aspectos de rendimiento relacionados con la eficiencia de los filtros y catalizadores, las emisiones y el consumo de combustible. Modelos como los de análisis de ciclo de vida (ACV) pueden utilizarse para determinar la huella ambiental asociada a la aplicación de estas técnicas de mantenimiento.

El mantenimiento sostenible se establece como un enfoque cuyo elemento clave es optimizar la eficiencia en el rendimiento de los activos, minimizando los costos asociados y reduciendo el impacto social y ambiental dentro del marco de la sostenibilidad (Barbieri et al, 2024). En este sentido, el mantenimiento predictivo responde a los principios de sostenibilidad porque mejora la gestión de recursos y contribuye a la reducción de emisiones contaminantes. La Comunidad de Práctica de Transporte de LEDES LAC trabaja para apoyar iniciativas de transporte bajo en emisiones, promover el uso eficiente de recursos y contribuir a la descarbonización del sector transporte en América Latina y el Caribe (LEDES LAC, s.f), así como en documentos de organizaciones que promueven el mantenimiento urbano se señala que el mantenimiento predictivo debe ir ligado a garantizar tanto la eficiencia como la sostenibilidad de las flotas de buses.

Análisis de requerimientos

Computador

- Procesador: Mínimo Intel Core i5 (10^a generación o superior) o AMD Ryzen 5 (serie 4000 o superior). Recomendado: i7 o Ryzen 7.
- Memoria RAM: 16 GB
- Disco duro: SSD de al menos 512 GB
- Sistema operativo: Windows 10/11 64 bits
- Tarjeta gráfica: GPU NVIDIA con soporte CUDA

Lenguajes

- Backend: Java, Python o C++.
- Frontend: JavaScript

IDE

- Visual Studio 2022.
- Android Studio.

Base de datos

- MySQL

Adicionales

- Control de versiones: Git + GitHub
- Gestión de proyecto: Jira

Restricciones**Política**

El factor político no se considera una restricción relevante para el proyecto, dado que en Colombia no existen leyes, decretos ni normativas que se opongan al desarrollo o implementación de software de mantenimiento predictivo en el sector transporte. Por el contrario, las políticas actuales de modernización y digitalización tienden a favorecer este tipo de iniciativas.

Económicas

Presupuesto limitado de las empresas transportadoras: Muchas empresas de transporte intermunicipal en Colombia operan con márgenes estrechos, debido a la competencia, los costos de combustible y la informalidad. Esto restringe su capacidad de pagar licencias o suscripciones de software especializado.

- Posible resistencia de empresas por costos de implementación.

Social

- **Resistencia al cambio:** Directivos, mecánicos y conductores pueden mostrar desconfianza hacia una herramienta digital, prefiriendo el mantenimiento preventivo o correctivo tradicional al que están acostumbrados. La percepción de “esto no es necesario” es una barrera importante

- **Falta de capacitación digital:** En algunos operadores de transporte, el personal no tiene formación suficiente en manejo de software. Si la aplicación no es muy intuitiva, su uso puede ser limitado o rechazado. Esto implica que el proyecto debe acompañarse de capacitación básica y soporte al cliente.

Tecnológicas

- **Compatibilidad tecnológica:** No todas las empresas cuentan con equipos modernos. Algunas todavía trabajan con computadores antiguos, sistemas operativos desactualizados o poca infraestructura digital. Esto exige que el software sea ligero, multiplataforma y adaptable.

- **Necesidad de actualización continua:** El sector tecnológico avanza rápido. Si el software no se actualiza con nuevas funciones, seguridad y compatibilidad, puede quedar obsoleto frente a competidores o perder atractivo para los usuarios.

Legal

Este factor no representa una restricción significativa para el proyecto, ya que la normatividad colombiana en materia de transporte terrestre no limita ni prohíbe el uso de herramientas digitales para el control y planeación del mantenimiento. Las leyes y decretos vigentes se enfocan principalmente en exigir a las empresas transportadoras la realización del

mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos, pero no restringen el uso de software de apoyo para cumplir con dichos procesos.

Metodología

Desarrollar un prototipo funcional de la aplicación web en un entorno controlado, evaluando su usabilidad y rendimiento.

Gestión del proyecto y documentación técnica:

- Definir el cronograma del proyecto determinando las fases de cada actividad y estableciendo tiempos para cada una de ellas.
- Tener en cuenta los recursos necesarios que serán necesarios para la elaboración del prototipo.
- Mostrar los diferentes fragmentos de código evidenciando la funcionalidad de cada uno.

Pruebas de rendimiento: evidenciar el tiempo de respuesta de la página web al momento de la consulta del usuario al introducir los datos respectivos del vehículo.

Preparación para la socialización del prototipo: Realizar múltiples simulaciones evaluando las funcionalidades de la aplicación y página web para evitar posibles fallas al momento de socializar el prototipo.

Diseñar una interfaz web interactiva

Esta interfaz debe permitir el registro, el monitoreo histórico y la simulación del estado de los componentes críticos del sistema de emisiones, integrando alertas predictivas basadas en datos reportados manualmente como kilometraje, consumo de combustible y mantenimientos realizados.

- **Definición de arquitectura tecnológica:** elección de framework web, lenguaje de programación, gestor de base de datos y librerías de visualización.
- **Diseño de prototipo:** creación de mockups donde los usuarios puedan ingresar manualmente los datos de cada bus (kilometraje, consumo, fechas de mantenimiento, observaciones técnicas).

Integración de módulos principales:

- **Registro de datos históricos:** formulario para ingreso manual y base de datos para almacenar la información.
- **Monitoreo visual:** gráficos y tablas que muestren la evolución del estado de filtros y catalizadores.
- **Simulación predictiva:** algoritmos que, con base en patrones de desgaste y registros históricos, estimen cuándo será necesario el mantenimiento.
- **Alertas predictivas:** reglas basadas en umbrales de kilometraje, consumo y fallas previas.

Pruebas funcionales: verificación de la correcta interacción entre el frontend y la base de datos.

Validación con usuarios finales: retroalimentación de técnicos y operadores de buses.

Definir aspectos funcionales y no funcionales de la plataforma web

La plataforma debe incluir las funcionalidades necesarias para el registro manual de datos, el monitoreo histórico, la predicción de mantenimiento, la generación de alertas y la visualización de información operativa.

Levantamiento de requerimientos: talleres y entrevistas con administradores de flota, técnicos de mantenimiento y posibles usuarios de la aplicación.

Clasificación de requerimientos:

Funcionales:

- Registro manual de datos en formularios.
- Almacenamiento y consulta de historial de mantenimiento.
- Monitoreo mediante gráficos y reportes históricos
- Algoritmos de predicción basados en parámetros históricos.
- Generación de alertas programadas (ej. por tiempo, kilometraje o consumo).

No funcionales:

- Usabilidad sencilla para personal no técnico.
- Seguridad en el acceso a los datos (usuarios con roles).
- Escalabilidad para integrar más buses en el futuro.
- Accesibilidad desde navegadores comunes.

Modelado con diagramas: elaboración de casos de uso, diagramas de flujo de registro y visualización de datos.

Priorización de requerimientos: uso de la técnica MoSCoW (Must have, Should have, Could have, Won't have).

Tabla de costos

Costos indirectos

Costos administrativos: Los costos administrativos son los necesarios para el funcionamiento operativo del proyecto, específicamente las herramientas básicas que son el internet, la energía eléctrica y las herramientas digitales de ofimática que son necesarias para desarrollar, comunicar y documentar las tareas del proyecto. Los costos administrativos permiten tener un funcionamiento operativo adecuado, garantizar la continuidad del funcionamiento

operativo y permitir un adecuado soporte tecnológico del funcionamiento del equipo de trabajo del proyecto.

Tabla 1

Costos Administrativos

Gasto administrativo	Descripción	Costo Mensual (COP)	Duración Meses	Costo total (COP)
Servicio de internet	Plan de internet con alta velocidad para el desarrollo de la página web	\$ 150.000	12	\$ 1.800.000
Servicio de luz	Costo aproximado de lo que vale el recibo de la luz dependiendo del estrato y el número de equipos a utilizar	\$ 118.849	12	\$ 1.426.188
Materiales de oficina virtual (office 365)	Herramientas de Comunicación y documentación de la página web	\$ 100.000	12	\$ 1.200.000
Total		\$ 368.849		\$ 4.426.188

Nota. Los costos mensuales corresponden a estimaciones promedio y el costo total se calcula con

base en una duración de 12 meses. Elaboración propia (2025).

Costos de infraestructura: Los costes de infraestructura son los gastos derivados de las inversiones financieras para el soporte tecnológico y el mantenimiento de los equipos que se usaron para el desarrollo mismo del proyecto. Los gastos o costos de este tipo permiten el funcionamiento del sistema, incluyendo la activación de las licencias de uso de software y de la puesta en marcha del mantenimiento preventivo o correctivo de los equipos de trabajo. Los gastos de este tipo se orientan hacia garantizar una utilización funcional, segura y actualizada de una infraestructura tecnológica.

Tabla 2*Costos de Infraestructura*

Gastos De Infraestructura	Descripción	Costo total (COP)
Licencia Sistema Operativo	activación del sistema operativo en 2 pc.	\$ 600.000
Mantenimiento predictivo	Mantenimiento a equipos de desarrollo(pc)	\$ 200.000
Total		\$ 800.000

Nota. Los valores corresponden a costos totales estimados de infraestructura para el proyecto.

Elaboración propia (2025).

Costos generales: Los costes generales o overhead se entienden como aquellos costes derivados de la dirección global y el soporte administrativo del proyecto, donde se engloban los honorarios de la parte administrativa, trámites legales, seguros, auditorías, así como las actividades de marketing teniendo en cuenta que son necesarios para cumplir con los requisitos legales, poder llevar a cabo una transparencia financiera y proteger los activos del proyecto.

Tabla 3*Costos generales*

Gasto administrativo	Descripción	Costo Mensual (COP)	Duración Meses	Costo total (COP)
----------------------	-------------	---------------------	----------------	-------------------

Honorarios administrativos	Personas encargadas de tareas operativas y de soporte administrativo	\$ 1.624.000	12	\$ 19.488.000
Trámites legales	Registro Cámara de Comercio, NIT en la DIAN, Contratos y asesoría legal básica, servicios de contador	\$ 1.080.000	12	\$ 12.960.000
Seguros de la empresa	seguro de responsabilidad social, seguro cibernético, seguro contra riesgos sociales	\$ 0	1 (año)	\$ 2.600.000
Auditorias	auditoria contable, auditoría legal, auditoría de seguridad digital	\$ 0	1(año)	\$ 5.500.000
Publicidad y marketing	redes sociales, campañas digitales	\$ 0	12	\$ 0
Total		\$ 2.704.000		\$ 40.548.000

Nota. Algunos costos se pagan de forma mensual y otros corresponden a pagos anuales o únicos.

Elaboración propia (2025).

Tabla 4

Total, Costos Indirectos

Categoría	Costo total (COP)
Costos administrativos	\$ 4.426.188
Costos de infraestructura	\$ 800.000

Costos generales	\$ 40.548.000
------------------	---------------

Total	\$ 45.774.188
-------	---------------

Nota. Los valores corresponden a la suma de los costos administrativos, de infraestructura y generales del proyecto. Elaboración propia (2025).

Costos directos

Costo de personal: La siguiente tabla recoge el importe estimado del personal que debe implicarse en el desarrollo y en la realización del proyecto. En esta tabla se desglosan los diversos tipos de roles y las diversas responsabilidades del equipo, el número de profesionales que se asignan a las distintas categorías, su salario mensual, la duración de los contratos y la cantidad que corresponde a cada tipo de puesto.

El objetivo de esta estimación es buscar la transparencia y la claridad del presupuesto que se debe dar para el manejo del talento humano, tal como para que los recursos que se asignan puedan ser suficientes para dar cumplimiento a los objetivos técnicos y operativos que se exige el proyecto.

Tabla 5*Costo de Personal*

Rol	Descripción	Cantidad	Salario Mensual	Duración (Meses)	Costo Total (COP)
Desarrollador backend	<p>Diseña y administra la base de datos de la flota</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementa APIs para conectar la aplicación y página web • Automatiza alertas de mantenimiento predictivo <p>En conclusión su trabajo asegura que el sistema tome decisiones inteligentes basadas en datos reales del bus</p>	1	\$ 4.200.000	12	\$ 50.400.000
Desarrollador Frontend	<p>Construye la interfaz donde los usuarios (talleres, conductores, administradores de flota) consultan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estado de los buses • Notificaciones de mantenimiento <p>En conclusión se enfoca en que todo sea fácil de usar, rápido y accesible desde móvil o navegador</p>	1	\$ 1.400.000	12	\$ 16.800.000
Diseñador UI/UX	<p>su meta es que la aplicación sea intuitiva incluso para quienes no son expertos en tecnología</p>	1	\$ 2.800.000	12	\$ 33.600.000
QA tester	<p>Evita fallos que puedan afectar la operación de los buses o causar sobrecostos</p>	1	\$ 1.500.000	12	\$ 18.000.000
Líderes de proyecto	<p>Garantizan que la solución sea rentable y funcional para la operación de transporte</p>	2	\$ 5.000.000	12	\$ 60.000.000
Total	Total	6	\$ 14.900.000	12	\$ 178.800.000

Nota. Los valores y corresponden a los salarios estimados del personal del proyecto calculados para un periodo de 12 meses. Elaboración propia (2025).

VPN: Proyección de los flujos de efectivo a cinco años. Al año cero se produce una inversión inicial de \$242.547.037 la cual se destina al desarrollo y despliegue de la aplicación web. De igual forma, a partir del primer año se estiman los ingresos provenientes de la comercialización del software mediante el cual se puede suscribir a un contrato anual con un precio de \$3.000.000 por empresa. Se plantea como meta suscribir 4 empresas en el primer año y que cada año se duplique esta cantidad, lo que refleja el aumento progresivo en la adopción de la herramienta. Asimismo, se consideran los ahorros por la introducción de mantenimiento predictivo a las flotas de buses que operan en la Terminal de Transporte El Salitre, los cuales ayudan tanto a aumentar la rentabilidad como a reducir las emisiones contaminantes.

Tabla 6

VPN

año	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ 242.547.03 7,00					
ingresos		\$ 144.000.0 00,00	\$ 288.000.0 00,00	\$ 576.000.0 00,00	\$ 1.152.000.0 00,00	\$ 2.304.000.0 00,00
Costos directos	178.800.00 0,00	\$ 194.700.0 00,00	\$ 195.700.0 00,00	\$ 196.700.0 00,00	\$ 197.700.00 0,00	\$ 198.700.00 0,00
Costos indirectos	\$ 45.774.188 ,00	\$ 45.774.18 8,00	\$ 45.774.18 8,00	\$ 45.774.18 8,00	\$ 45.774.188, 00	\$ 45.774.188, 00
Flujo neto	-\$ 242.547.03 7,00	-\$ 96.474.18 8,00	\$ 46.525.81 2,00	\$ 333.525.8 12,00	\$ 908.525.81 2,00	\$ 2.059.525.8 12,00

Nota. Los valores presentados corresponden a la proyección del flujo de caja del proyecto a cinco años, incluyendo la inversión inicial, ingresos estimados, costos directos e indirectos y el

cálculo del flujo neto anual, utilizados como base para determinar el Valor Presente Neto (VPN) y evaluar la viabilidad financiera. Todos los valores monetarios están expresados en pesos colombianos (COP). Elaboración propia (2025).

Valor Actual Neto (VAN): \$1.858.121.965,27, lo que significa que el proyecto genera un valor adicional positivo al descontar los flujos futuros, confirmando su rentabilidad.

Tasa Interna de Retorno (TIR): 75 %, un valor muy superior al costo de oportunidad (10 %), lo que indica que la inversión es altamente atractiva y recuperable en un corto periodo.

Tabla 7

Rendimiento del Proyecto

tasa de rendimiento	10%
VAN	\$ 1.858.121.965,27
TIR	75%

Nota. Los indicadores financieros (tasa de rendimiento, VAN y TIR) se calcularon a partir de los flujos de caja proyectados del proyecto para estimar su rentabilidad y factibilidad económica.

Elaboración propia (2025).

Avances de resultados

Figura 1

Interfaz de la aplicación



Nota: Logo que aparece cada vez que el usuario abre la aplicación. Elaboración propia (2025).

Figura 2

Interfaz de inicio de sesión en la aplicación



Nota. Credenciales que pide la aplicación antes de entrar. Elaboración propia (2025)

Figura 3

Interfaz de registro en la aplicación

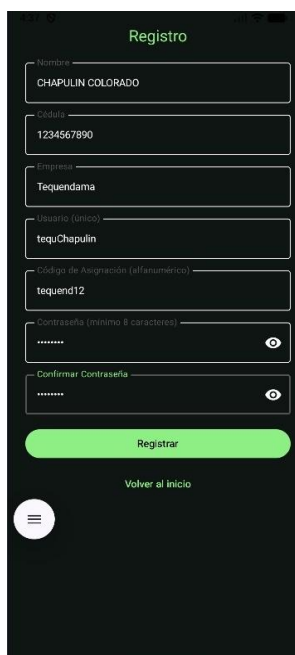


The image shows a mobile application registration screen with the title "Registro" at the top. Below the title are seven input fields, each with a light gray border and a light gray placeholder text. The fields are: "Nombre", "Cédula", "Empresa", "Usuario (único)", "Código de Asignación (alfanumérico)", "Contraseña (mínimo 8 caracteres)", and "Confirmar Contraseña". Each of the last three fields has a small eye icon on the right side, indicating a password field. Below the input fields is a "Registrar" button and a "Volver al inicio" link.

Nota. El usuario debe rellenar todos los campos con sus datos personales para tener un registro a la aplicación de forma exitosa. Elaboración propia (2025).

Figura 4

Simulación de registro



The image shows the same registration screen as in Figure 4, but with the input fields filled with example data. The "Nombre" field contains "CHAPULIN COLORADO", "Cédula" contains "1234567890", "Empresa" contains "Tequendama", "Usuario (único)" contains "tequChapulín", and "Código de Asignación (alfanumérico)" contains "tequend12". The "Contraseña" and "Confirmar Contraseña" fields are filled with "*****". The "Registrar" button is now a solid green color. A hamburger menu icon is visible in the bottom left corner.

Nota. Simulación de como el usuario debe rellenar los campos solicitados para poder registrarse en la aplicación. Elaboración propia (2025).

Aclaración: el nombre siempre cambia a mayúscula, no es posible poner espacios delante de él. El usuario siempre tiene las 4 primeras letras del nombre de la empresa y la contraseña tiene que ser sí o sí de 8 dígitos.

Figura 5

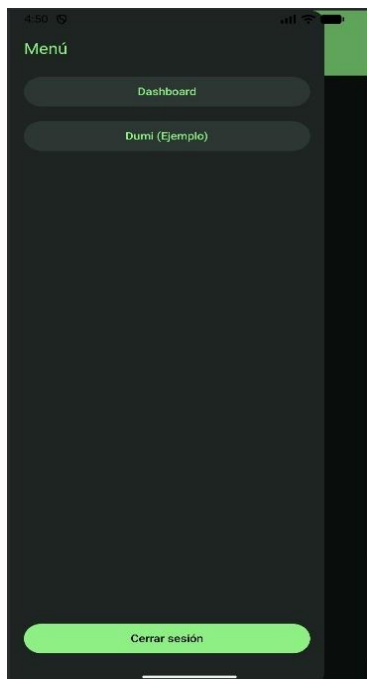
Interfaz de bienvenida a la aplicación



Nota. Demostración de la visualización que el usuario debe tener al momento de estar registrado en la aplicación. Elaboración propia (2025).

Figura 6

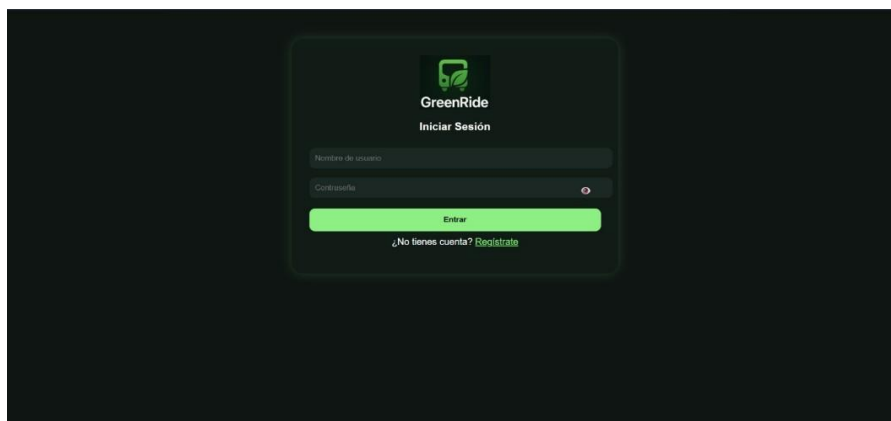
Interfaz del menú



Nota. Demostración de las opciones que el usuario tiene para elegir dentro de la aplicación. Elaboración propia (2025).

Figura 7

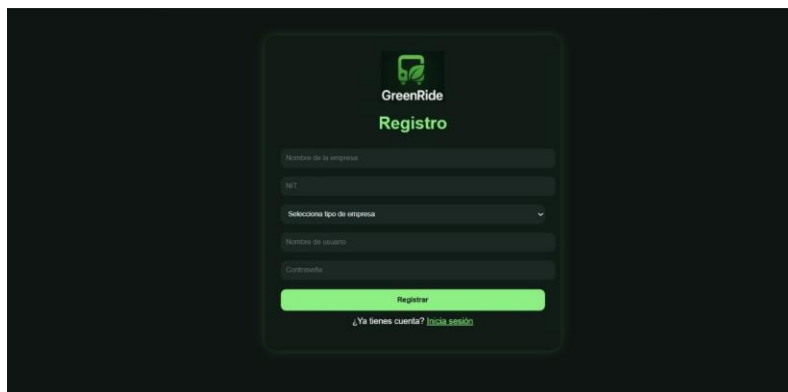
Interfaz de ingreso a página web



Nota. Demostración de como se ve la interfaz de la página web al momento que el usuario quiere acceder. Elaboración propia (2025).

Figura 8

Interfaz de Registro a la página web

A screenshot of the GreenRide registration form. The form is centered on a dark background. At the top, there is a logo with a green leaf and the text "GreenRide" and "Registro" below it. The form contains several input fields: "Nombre de la empresa", "NIT", "Selecciona tipo de empresa" (with a dropdown arrow), "Número de celular", and "Contraseña". Below these fields is a prominent green "Registrar" button. At the bottom of the form, there is a link that says "¿Ya tienes cuenta? [Inicia sesión](#)".

Nota. Demostración de como se ve el formulario de registro en la página web. Elaboración propia (2025).

Figura 9

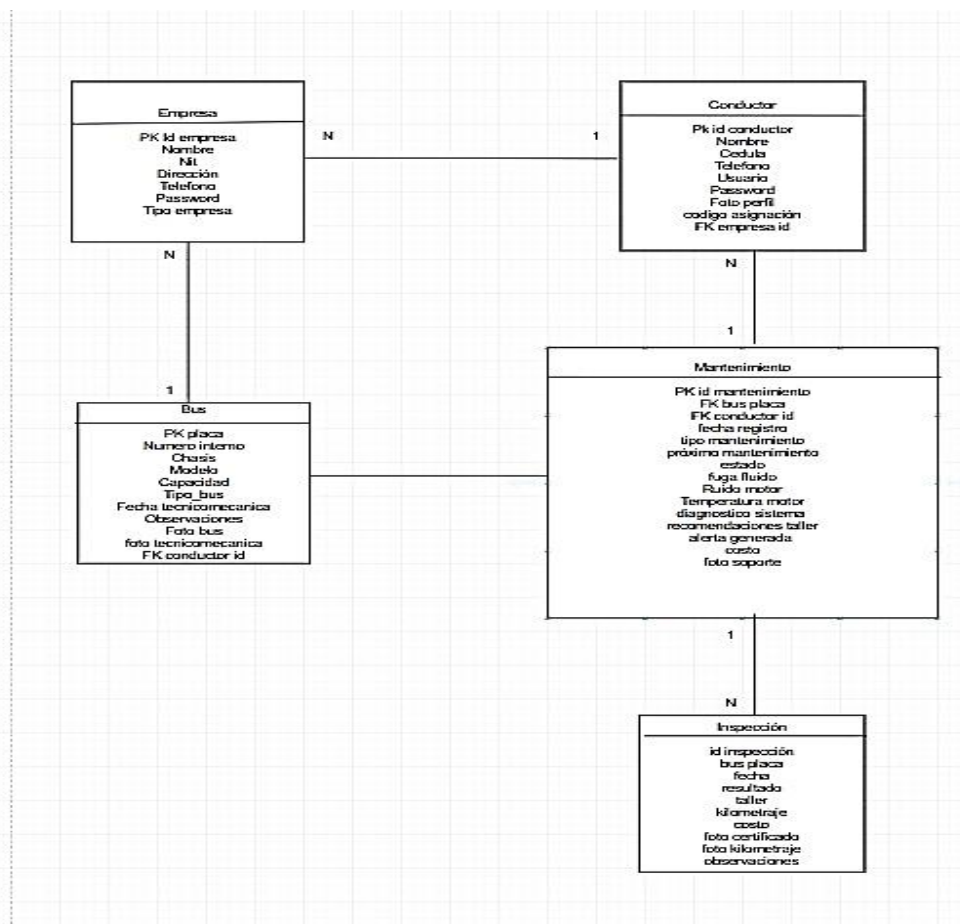
Interfaz de bienvenida a la página web



Nota. Demostración de la interfaz que el usuario debe observar después de registrarse en la página web. Elaboración propia (2025).

Figura 10

MER de la base de datos



Nota. Demostración del modelo entidad relación para que todo funcione correctamente dentro de la base de datos. Elaboración propia (2025).

Conclusiones

Síntesis de los resultados:

El proyecto logró consolidar la propuesta de una solución tecnológica integral gracias al desarrollo del prototipo GreenRide, el cual es capaz de gestionar y predecir mantenimientos de buses diésel utilizando registro digital y análisis de datos operativos, mediante un enfoque de mantenimiento predictivo basado en análisis histórico y simulación de datos operativos, sin depender de sensores físicos en tiempo real.

Los resultados evidencian que la herramienta es funcional, viable y adaptable a las condiciones del transporte intermunicipal colombiano, incorporando componentes técnicos, económicos y sociales enfocados en la mejora de la eficiencia operativa y en contribuir indirectamente a la reducción de la contaminación urbana.

GreenRide es un paso hacia la digitalización del ámbito del transporte, dado que contribuye a conseguir una solución accesible, fácilmente implementable y con potencial de ser replicada por otras terminales a nivel nacional, donde se favorece dar cumplimiento a los requerimientos de sostenibilidad y de gestión ambiental en el sistema de movilidad.

Aspectos novedosos del proyecto:

La innovación radica en que se ha implementado lo que se denomina mantenimiento predictivo por medio de una web que puede ser utilizada en el contexto intermunicipal colombiano, un concepto que apenas se conoce y que cambia paradigmas, es decir, que sustituye la forma tradicional de control de mantenimiento por una gestión de la información digitalizada.

La propuesta de GreenRide la cual es simular los datos y análisis predictivo de mantenimiento por medio de kilometraje, consumo y mantenimiento previo, permite a las empresas predecir las averías sin incurrir en los altos costes que suponen equipos o sensores, optimizando suficientemente sus recursos económicos.

En la parte social, este proyecto busca fomentar la adopción tecnológica en el sector transporte mediante la difusión del mantenimiento y sensibilización en la importancia del mantenimiento predictivo y la sostenibilidad ambiental, siendo esto ya una innovación en cultura organizacional.

Cumplimiento de los objetivos:

Se logró cumplir con el objetivo general planteado ya que se logró diseñar y desarrollar una aplicación web funcional que gestiona el mantenimiento predictivo de buses diésel en la

Terminal Salitre, integrando los módulos de registro, simulación y alertas de manera operativa y coherente.

Los objetivos específicos también fueron alcanzados puesto que, se elaboró un prototipo funcional el cual fue probado en un entorno controlado, se diseñó una interfaz web amigable con componentes visuales y por último se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales del sistema.

Metodología y análisis realizados:

La metodología de desarrollo iterativo estableció un camino que fue desde el análisis de requerimientos hasta la validación del prototipo. Permitiendo una coherencia entre el diseño, la funcionalidad y la experiencia de usuario constante.

El análisis técnico demostró la eficiencia del software con relación a su tiempo de respuesta, estabilidad y facilidad de uso, lo que pone de manifiesto que el uso real del sistema, en un entorno de operación intermunicipal, es posible.

La metodología utilizada también permitió verificar el estudio de viabilidad económica y social del proyecto, explicando que GreenRide es capaz de implementarse sin necesidad de realizar grandes infraestructuras y generando un efecto positivo en la gestión medioambiental.

Limitaciones del proyecto

Una de las principales limitaciones está relacionada con el ingreso manual de los datos, lo que puede provocar inexactitudes o demoras en cuanto a la actualización de la información de los vehículos introducidos como registros.

Se determinó la existencia de barreras culturales y tecnológicas asociadas con las compañías transportadoras, vinculadas con la falta de formación digital.

Desde el punto de vista económico, la adopción inicial del software puede verse restringida por el presupuesto limitado de las empresas pequeñas.

Proyecciones y posibilidades futuras:

En un futuro cercano, GreenRide podría ser innovada con inteligencia artificial y análisis automatizado de datos, lo que permitiría una mejor predicción de resultados.

GreenRide Se podría llegar a extender a nivel nacional siendo así una herramienta que contribuye a la disminución de emisiones contaminantes, como también podría ayudar a evitar accidentalidades en las diferentes carreteras del país realizando el respectivo mantenimiento predictivo a los buses intermunicipales.

En el ámbito social, se espera que GreenRide pueda promocionar la adopción tecnológica entre transportadores, como también se espera que este proyecto incentive a las diferentes empresas intermunicipales a estar más pendientes del cuidado de sus vehículos.

Referencias

- Alcaldía de Bogotá. (s.f). *¿Cómo podemos contribuir para que la calidad del aire mejore en Bogotá?*. Obtenido el 30 de enero de 2026 <https://bogota.gov.co/yo-participo/foros/alerta-amarilla-en-bogota-por-calidad-del-aire>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2019). *Factores de emisión de fuentes móviles en el Valle de Aburrá* [Archivo PDF]. <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Biblioteca-aire/Estudios-calidad-del-aire/Libro-Factores-de-Emision-AMVA.pdf>
- Barbieri G.,Hernandez,D. (2024). *Sustainability Indices and RAM Analysis for Maintenance*. [Archivo PDF]. <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/3/979?>
- California Council on Diesel Education and Tecnology[CCDET]. (2016). *Preventive Maintenance for Heavy Duty Trucks* [Archivo PDF]. https://ccdet.org/wp-content/uploads/2016/12/preventive_maintenance_handbook_12_14_2016.pdf?
- Cooper E.,Magdala A.,Aileen C.,Umang J.(s.f). *environmentaldocuments.com*. Obtenido el 30 de enero de 2026,[Archivo PDF]. <https://environmentaldocuments.com/embarq/Spanish-Exhaust-Emissions-Transit-Buses-EMBARQ.pdf>
- Cuevas. (25 de julio de 2017). *“No recibimos filtros en ningún bus”*: *secretario de Ambiente*. <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/no-recibimos-filtros-en-ningun-bus-secretario-de-ambiente>
- Departamento nacional de planeación [DNP]. (05 de diciembre de 2024). *DNP presenta +Clima: Una herramienta clave para liderar la acción climática en el país*. https://www.dnp.gov.co/Prensa_/Noticias/Paginas/dnp-presenta-mas-clima-una-herramienta-clave-para-liderar-la-accion-climatica-en-el-pais.aspx?

European environment agency[EEA]. (16 de febrero de 2022). *Managing air quality in Europe*.

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/managing-air-quality-in-europe>

Farrow A., Miller K., Rolle J., Céspedes T., Anhaeuser A. (2021). *Contaminación del aire por el*

tráfico vehicular. [Archivo PDF]. https://www.greenpeace.org/static/planet4-colombia-stateless/2021/10/e9f8ee02-pdf_greenpeace.pdf

Fuso. (16 de julio de 2020). *Cómo cuidar el motor diésel de tu camión*.

<https://www.fuso.com.pe/blog/como-cuidar-motor-diesel-camiones/>

Gutierrez S., León Q., Moreno I. (2013). *Implementación de una estrategia de Mantenimiento predictivo enfocado al análisis y diagnóstico de fallas en equipos mecánicos y eléctricos de la estación de transferencia y recibo en campo moriche perteneciente a Mansarovar Energy Colombia LTD*. [Archivo PDF].

<https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/18907>

Jerez. (16 de diciembre de 2024). *El Consejo de Administración de Comujesa aprueba la contratación del suministro de 25 autobuses nuevos para Autobuses Urbanos a través de 'renting'*. <https://cadenaser.com/andalucia/2024/12/16/el-consejo-de-administracion-de-comujesa-aprueba-la-contratacion-del-suministro-de-25-autobuses-nuevos-para-autobuses-urbanos-a-traves-de-renting-radio-jerez/>

LEDS LAC. (s.f). *Comunidad de Práctica de Transporte*. Obtenido el 30 de enero de 2026.

<https://www.ledslac.org/comunidades-de-practica/transporte/>

Ministerio de Ambiente[MinAmbiente]. (2012). *Resolución Na 1304*. [Archivo PDF].

<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-no-1304-de-2012/>

Ministerio de Ambiente[MinAmbiente]. (2019). *Ley Na 1972 de 2019*. [Archivo PDF].

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1972-2019.pdf>

Resolución No. 0762. Por la cual se reglamentan los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamentan los artículos 2.2.5.1.6.1, 2.2.5.1.8.2 y 2.2.5.1.8.3 del Decreto 1076 de 2015 y se adoptan otras disposiciones. 18 de julio de 2022. D.O. No. 52120.

Ministerio de Ambiente[MinAmbiente]. (s.f). *Emisiones Atmosféricas Contaminantes*. Obtenido el 30 de enero de 2026. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/emisiones-atmosfericas-contaminantes/>

Ministerio de Transporte[MinTransporte]. (2020). *Mintransporte se une a la Alianza Global MobiliseYourCity por el desarrollo e implementación de la movilidad sostenible*. <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/8120/mintransporte-se-une-a-la-alianza-global-mobiliseyourcity-por-el-desarrollo-e-implementacion-de-la-movilidad-sostenible/?>

Moreno, J. B. (12 de febrero de 2024). *Filtroni*.

<https://filtroni.com/blogs/articulos/contaminacion-en-el-combustible-diesel> (enlace no disponible)

Pilgrim. (06 de septiembre de 2024). *Cómo el mantenimiento basado en condiciones puede optimizar tu flota de autobuses*. <https://www.geotab.com/es/blog/mantenimiento-flota-de-autobuses/>

Propartes. (08 de mayo de 2020). *Proteger el filtro de partículas diésel*.

<https://www.propartes.com/proteger-el-filtro-de-particulas-diesel/>

Quispe C., Rabanal O.,Paez E. (2023). *Implementación de un plan de mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los Tractocamiones Sinotruck C7h, para la empresa SAVAR en Ventanilla 2022*. [Archivo PDF].

<https://repositorio.unac.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/f66b5a6e-0bba-430d-86de-36c937b92640/content>

Redacción Movertis. (17 de marzo de 2025). *Mantenimiento Correctivo, Preventivo y*

Predictivo:Cuál es mejor para una flota de vehículos.

<https://www.movertis.com/blog/mantenimiento-correctivo-preventivo-y-predictivo-cuales-mejor>

Riaño. (12 de octubre de 2023). *El GNV en Transmilenio ha beneficiado la calidad del aire y la*

salud de los bogotanos. <https://gasvehicular.com/index.php/edicion-51/item/819-el-gnv-en-transmilenio-ha-beneficiado-la-calidad-del-aire-y-la-salud-de-los-bogotanos>

Rincón educativo. (s.f). *Ahorro de energía en el transporte.* Obtenido el 30 de enero de 2026.

<https://rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/ahorro-energia-transporte/>

Rojas. (s.f). *Aire y problemas ambientales de Bogotá.*[Archivo PDF].Obtenido el 30 de enero de

2026. https://bogota.gov.co/sites/default/files/inline-files/aire_y_problemas_ambientales_de_bogota.pdf

Rosbach. (20 de diciembre de 2024). *A medida que las ciudades globales se expanden*

rápidamente, las personas deben estar en el centro de la planificación.

<https://time.com/7203147/sustainable-urban-development>

Secretaria distrital de ambiente[SDA]. (24 de octubre de 2021). *Plan de Acción Climática (PAC)*

de Bogotá aporta en cerca del 90 % al cumplimiento de las acciones del Acuerdo de

Emergencia Climática. [https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-](https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/plan-de-accion-climatica-pac-de-bogota-aporta-en-cerca-del-90-al-cumplimiento-de-las-acciones-del-acuerdo-de-emergencia-climatica)

[/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/plan-de-accion-climatica-pac-de-bogota-aporta-](https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/plan-de-accion-climatica-pac-de-bogota-aporta-en-cerca-del-90-al-cumplimiento-de-las-acciones-del-acuerdo-de-emergencia-climatica)

[en-cerca-del-90-al-cumplimiento-de-las-acciones-del-acuerdo-de-emergencia-climatica](https://www.ambientebogota.gov.co/nota-principal/-/asset_publisher/vRkc1u7VgGg4/content/plan-de-accion-climatica-pac-de-bogota-aporta-en-cerca-del-90-al-cumplimiento-de-las-acciones-del-acuerdo-de-emergencia-climatica)

Sommerset. (7 de febrero de 2022). *What is the Problem With Diesel Particulate Filters?*

<https://www.truckofmine.com/what-is-the-problem-with-diesel-particulate-filters/>

Thadeu. (16 de septiembre de 2021). *La contaminación causa daños al sistema de inyección –*

Parte III. <https://portallubes.com.br/2021/09/sistema-de-inyeccion-parteiii/>

Unión de Científicos Conscientes[UCS]. (17 de octubre de 2023). *Carros, camiones, buses y la*

contaminación del aire. <https://es.ucs.org/recursos/carros-camiones-buses-contaminacion>

World bank group[BM]. (1 de abril de 2024). *Banco Mundial y Colombia reiteran*

compromiso con la acción climática. <https://www.worldbank.org/en/news/press->

[release/2024/04/11/el-banco-mundial-y-colombia-reafirman-su-compromiso-con-la-accion-](https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/04/11/el-banco-mundial-y-colombia-reafirman-su-compromiso-con-la-accion-climatica)

[climatica](https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/04/11/el-banco-mundial-y-colombia-reafirman-su-compromiso-con-la-accion-climatica)