

**Universidad Nacional de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Mecánica**



TESIS

**Mejora de la eficiencia de una flota de buses de una empresa de transporte interprovincial mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico

Elaborada por

Jaime Jefferson Ricra Flores

 [0009-0000-2659-2153](https://orcid.org/0009-0000-2659-2153)

Asesor

Dr. Ing. Juan Guillermo Lira Cacho

 [0000-0001-9118-4367](https://orcid.org/0000-0001-9118-4367)

LIMA – PERÚ

2023

## **DEDICATORIA**

A mi padre Moisés Ricra, madre Nelly Flores, hermanos Ronald, Gabriel y Milagros por apoyarme y comprenderme, a mi novia Diana Arenas Machaca por ser la fuente de motivación en este objetivo profesional, porque a pesar de los difíciles momentos en este proceso, siempre tuvo las palabras y acciones para mantenerme firme en seguir adelante, a mis abuelitos maternos y paternos por bendecirme desde el cielo.

## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a todos los que fueron parte del proceso de desarrollo del presente trabajo:

Al Ing. Juan Guillermo Lira Cacho, Ph.D, por su disponibilidad, comprensión y excelente asesoría, lo cual fue esencial para realizar un desarrollo que cumpla los estándares de la Facultad de Ingeniería Mecánica - UNI.

Al Ing. Jorge Ortiz Porras, por sus críticas constructivas en la selección del tema de tesis.

Al Dr. Javier Franco Gonzales, por sus recomendaciones para el proceso de selección de titulación.

Al Dr. Hugo Gamarra Chinchay, por su orientación para el proceso de titulación por tesis.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue implementar un plan de mantenimiento preventivo (PMP) para mejorar la eficiencia de una flota de buses en una empresa nacional de transporte terrestre interprovincial. Se consideraron inicialmente 132 buses de las marcas Scania y Volvo que estuvieron operativos durante el año 2018, y se los clasificó por tipo de servicio, marca, modelo y año de inicio de operación. Posteriormente se seleccionó los 14 buses de la marca y modelo Volvo – B430R con el menor rendimiento de combustible (9,73 km/gal), como muestra para el presente estudio. La metodología de investigación, fue del tipo aplicada, de alcance explicativo, con enfoque cuantitativo y de diseño preexperimental de corte longitudinal. Los instrumentos que se emplearon para la obtención de datos de los indicadores de mantenimiento fueron las fichas de registros del software de gestión de flota y los reportes de análisis de muestras de aceite lubricante, que fueron enviados por el laboratorio del representante de la marca del bus. En relación a las deficiencias identificadas en el diagnóstico inicial, se estableció mejorar la eficiencia de la flota, para lo cual se dividió el presente estudio en 3 dimensiones: rendimiento de combustible, disponibilidad mecánica y niveles de hollín en el aceite lubricante. Para estas 3 dimensiones se consideró realizar un análisis estadístico y económico. En tal sentido, después de la implementación, se comprobó y demostró que el PMP mejoró el rendimiento de combustible y la disponibilidad mecánica en 8,4% y 6,6%, respectivamente. Adicionalmente, los niveles de hollín presentaron una reducción del 17,1%. En conclusión, la implementación de un PMP tuvo un impacto favorable para la gestión de mantenimiento de la empresa de transporte terrestre interprovincial considerada, debido a que mejoró significativamente la eficiencia de la flota de los 14 buses seleccionados, lo que representó un ahorro promedio anual total de 137.318 soles (3,8% respecto al periodo previo a la implementación del PMP).

**Palabras claves:** mantenimiento, eficiencia, Volvo, cuantitativo, hollín, disponibilidad.

## ABSTRACT

The objective of this study was to implement a preventive maintenance plan (PMP) to improve the efficiency of a bus fleet in a national interprovincial land transport company. We initially considered 132 Scania and Volvo buses that were in operation during 2018, and classified them by type of service, make, model and year of operation. Subsequently, the 14 buses of the Volvo - B430R make and model with the lowest fuel efficiency (9.73 km/gal) were selected as the sample for the present study. The research methodology was applied, explanatory in scope, with a quantitative approach and a pre-experimental longitudinal design. The instruments used to obtain data on the maintenance indicators were the record cards of the fleet management software and the analysis reports of lubricating oil samples, which were sent by the laboratory of the bus manufacturer's representative. In relation to the deficiencies identified in the initial diagnosis, it was established to improve the efficiency of the fleet, for which the present study was divided into 3 dimensions: fuel efficiency, mechanical availability and soot levels in the lubricating oil. For these 3 dimensions, a statistical and economic analysis was considered. As such, after implementation, the PMP was found and demonstrated to improve fuel efficiency and mechanical availability by 8.4% and 6.6%, respectively. Additionally, soot levels showed a reduction of 17.1%. In conclusion, the implementation of a PMP had a favourable impact on the maintenance management of the interprovincial land transport company considered, because it significantly improved the efficiency of the fleet of the 14 selected buses, which represented a total average annual saving of 137,318 soles (3.8% compared to the period prior to the implementation of the PMP).

**Keywords:** maintenance, efficiency, Volvo, quantitative, soot, availability.

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras.....	xii
Índice de fórmulas .....	xiv
Índice de anexos .....	xv
PRÓLOGO .....	1
CAPÍTULO I. ....	2
INTRODUCCIÓN .....	2
1.1. Descripción del problema .....	2
1.2. Formulación del problema .....	8
1.2.1. Problema general .....	8
1.2.2. Problemas específicos.....	8
1.3. Objetivos.....	8
1.3.1. Objetivo general .....	8
1.3.2. Objetivos específicos.....	8
1.4. Antecedentes.....	9
1.4.1. Antecedentes nacionales.....	9
1.4.2. Antecedentes internacionales.....	10
CAPÍTULO II. ....	13
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	13
2.1. Marco teórico .....	13
2.1.1. Bus .....	13
2.1.2. Gestión de mantenimiento.....	19
2.1.3. Mantenimiento .....	19
2.1.4. Eficiencia de la flota de buses .....	25
2.2. Marco conceptual.....	35
CAPÍTULO III. ....	36
HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	36

3.1. Hipótesis .....	36
3.1.1. Hipótesis general .....	36
3.1.2. Hipótesis específicas .....	36
3.2. Operacionalización de variables .....	36
CAPÍTULO IV .....	38
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	38
4.1. Tipo y diseño de la investigación .....	38
4.2. Unidad de análisis .....	38
4.3. Matriz de consistencia .....	40
CAPÍTULO V .....	42
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	42
5.1. Etapas de la investigación .....	42
5.2. Diagnóstico de la realidad actual de la empresa .....	50
5.3. Diagnóstico del problema .....	51
5.4. Datos técnicos de los buses de la flota de la empresa .....	52
5.5. Indicadores del mantenimiento antes de la implementación .....	54
5.6. Implementación de mejoras en la gestión de mantenimiento. ....	61
5.6.1. Diagrama de Gantt de implementación de mejoras para la gestión de mantenimiento. ....	66
5.6.2. Variable independiente: Implementación del plan de mantenimiento preventivo. ....	68
5.7. Indicadores del mantenimiento después de la implementación .....	71
5.8. Análisis económico .....	79
5.8.1. Variable dependiente: Eficiencia de la flota de buses .....	79
CAPÍTULO VI .....	98
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	98
6.1. Análisis descriptivo .....	98
6.1.1. Variable dependiente: Eficiencia de la flota de buses .....	98
6.2. Análisis estadístico inferencial .....	102
6.2.1. Prueba de normalidad y normalización de datos .....	102
6.2.2. Prueba de la hipótesis específica 1 .....	104
6.2.3. Prueba de la hipótesis específica 2 .....	105
6.2.4. Prueba de la hipótesis específica 3 .....	106
6.3. Discusión de resultados .....	108

CONCLUSIONES.....	110
RECOMENDACIONES .....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
ANEXOS .....	119

## Índice de tablas

Tabla 1.	Causas que reducen la eficiencia de una flota de buses. ....	6
Tabla 2.	Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo. ....	23
Tabla 3.	Fuentes de emisión y relación PM2.5/PM10. ....	32
Tabla 4.	Valores límite de PM10 para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. ....	33
Tabla 5.	Operacionalización de las variables .....	37
Tabla 6.	Distribución de la flota total por servicio / marca / modelo / año de inicio de operación. ....	39
Tabla 7.	Matriz de consistencia. ....	40
Tabla 8.	Recorrido mensual por tipo de servicio, en 2018. ....	43
Tabla 9.	Recorrido acumulado por tipo de servicio, en 2018. ....	43
Tabla 10.	Consumo mensual de combustible por tipo de servicio en 2018. ....	44
Tabla 11.	Consumo acumulado de combustible por tipo de servicio, en galones, en 2018. ....	44
Tabla 12.	Rendimiento acumulativo del combustible por tipo de servicio, en km/galón, en 2018 .....	45
Tabla 13.	Distribución de frecuencia de rutas realizadas por cada tipo de servicio en el año 2018. ....	46
Tabla 14.	Distribución de la flota del servicio Suite por marca / modelo / año de inicio de operación. ....	49
Tabla 15.	Reporte del rendimiento acumulativo del combustible en 2018, en km/gal. ....	49
Tabla 16.	Códigos de las unidades Volvo – B430R (año de inicio de operación 2016) del servicio “Suite” seleccionadas para realizar el estudio de mejora de la eficiencia de la flota. ....	49
Tabla 17.	Códigos de las unidades Volvo – B430R del servicio “Suite” seleccionadas para realizar el estudio de mejora de la eficiencia de la flota. ....	52
Tabla 18.	Ficha técnica de los buses en estudio. ....	52

Tabla 19. Rendimiento acumulativo y promedio del combustible de la flota de buses – Antes de la implementación del plan de mantenimiento preventivo .....	54
Tabla 20. Horas disponibles fuera de mantenimiento – Antes de la implementación. ....	56
Tabla 21. Horas totales del mes – Antes de la implementación. ....	57
Tabla 22. Disponibilidad mecánica – Antes de la implementación. ....	58
Tabla 23. Concentración de hollín en el lubricante– Antes de la implementación...	60
Tabla 24. Evaluación de factores que influyen sobre la gestión de mantenimiento de la flota de buses. ....	62
Tabla 25. Diagrama de Gantt para la implementación del plan de mantenimiento preventivo para la flota de buses.....	67
Tabla 26. Plan de actividades programadas por frecuencia de recorrido, en kilómetros. ....	68
Tabla 27. Rendimiento acumulativo del combustible de la flota de buses – Después de la implementación. ....	72
Tabla 28. Horas disponibles fuera de mantenimiento – Después de la implementación. ....	74
Tabla 29. Horas totales del mes – Después de la implementación. ....	75
Tabla 30. Disponibilidad mecánica – Después de la implementación. ....	76
Tabla 31. Concentración de hollín en el aceite lubricante – Después de la implementación. ....	78
Tabla 32. Evolución del costo de combustible, en soles/galón de Diésel B5 -S50..	80
Tabla 33. Consumo de combustible por unidad en el periodo del pre-test.....	81
Tabla 34. Consumo de combustible por unidad en el periodo del post-test.....	82
Tabla 35. Comparación del consumo de combustible entre el pre-test y post-test para cada unidad en estudio. ....	83
Tabla 36. Comparación de los costos del consumo de combustible entre el pre-test y post-test para cada unidad en el estudio.....	84
Tabla 37. Evaluación económica de los costos de mantenimiento pre-test y post-test.....	85
Tabla 38. Mes de ejecución de la calibración de válvulas del motor para cada bus, posterior al pre-test. ....	87
Tabla 39. Costos promedio del cambio de inyectores de combustible para un bus Volvo-B430R entre los años 2018 a 2020. ....	96

Tabla 40. Evaluación del ahorro por reducción de concentración de hollín en el aceite del motor entre el período del pre-test y post-test. ....	96
Tabla 41. Prueba de normalidad del rendimiento del combustible con el test de Shapiro – Wilk. ....	103
Tabla 42. Prueba de normalidad de la disponibilidad mecánica con el test de Shapiro – Wilk.....	103
Tabla 43. Prueba de normalidad de los niveles de hollín en el aceite lubricante con el test de Shapiro – Wilk. ....	104
Tabla 44. Prueba de t de Student para el rendimiento del combustible .....	104
Tabla 45. Prueba de t de Student para la disponibilidad mecánica.....	106
Tabla 46. Prueba de t de Student para los niveles de hollín en el aceite lubricante.....	107

## Índice de figuras

Figura 1.	Diagrama de Ishikawa.....	5
Figura 2.	Diagrama de Pareto. ....	7
Figura 3.	Chasis de un bus. ....	13
Figura 4.	Bloque de cilindros.....	14
Figura 5.	Cigüeñal.....	14
Figura 6.	Culata.....	15
Figura 7.	Sistema de transmisión.....	16
Figura 8.	Sistema de dirección.....	17
Figura 9.	Sistema de frenos. ....	18
Figura 10.	Sistema de suspensión. ....	18
Figura 11.	Terminología del mantenimiento según la norma EN-13306. ....	20
Figura 12.	Tipos de mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010.....	20
Figura 13.	Curva de bañera. ....	21
Figura 14.	Implementación del mantenimiento preventivo. ....	22
Figura 15.	Emisión de partículas de hollín derivadas de la intensa actividad vehicular. .....	34
Figura 16.	Buses de la flota de la empresa analizada.....	39
Figura 17.	Rendimiento acumulativo del combustible en 2018 – Servicios de transporte terrestre interprovincial.....	45
Figura 18.	Organigrama de la empresa.....	51
Figura 19.	Rendimiento promedio del combustible (km/gal) - antes de la implementación. ....	55
Figura 20.	Disponibilidad mecánica promedio (%) - Antes de la implementación. .	59
Figura 21.	Concentración promedio de hollín en el lubricante – Antes de la implementación. ....	61
Figura 22.	Resumen de la evaluación de los factores de la gestión de mantenimiento en el pre-test. ....	66
Figura 23.	Reporte de parámetros de gestión de combustible de telemetría. ....	69
Figura 24.	Reporte del equipo de diagnóstico electrónico.....	70

Figura 25. Rendimiento promedio del combustible (km/gal) - Después de la implementación. ....	73
Figura 26. Disponibilidad mecánica promedio– Después de la implementación ....	77
Figura 27. Concentración promedio de hollín – Después de la implementación ....	79
Figura 28. Tendencia de concentración de hollín en aceite lubricante del motor del bus SUITE-21, con programación de cambio de aceite en marzo 2019. ....	86
Figura 29. Reportes de la concentración de hollín en el aceite de motor de los 14 buses del servicio “Suite”. ....	94
Figura 30. Rendimiento del combustible (km/gal) – Pre Test y Post Test. ....	98
Figura 31. Comparación del rendimiento promedio del combustible– antes y después de la mejora. ....	99
Figura 32. Disponibilidad mecánica – Pre Test y Post Test ....	99
Figura 33. Comparación de la disponibilidad mecánica promedio – antes y después del PMP. ....	100
Figura 34. Niveles de hollín en el aceite lubricante – Pre Test y Post Test. ....	101
Figura 35. Comparación de los niveles promedio de hollín– antes y después de la mejora ....	101

## Índice de fórmulas

Fórmula 1 - Rendimiento de combustible.....	26
Fórmula 2 - MTBF .....	29
Fórmula 3 - MTTR .....	29
Fórmula 4 – Disponibilidad mecánica (1° forma).....	30
Fórmula 5 – Disponibilidad mecánica (2° forma) .....	30
Fórmula 6 – Rendimiento acumulativo del combustible hasta el mes "i" .....	45
Fórmula 7 – Ahorro por extensión de vida útil de los inyectores de combustilbe ....	96

## Índice de anexos

Anexo 1. Ficha técnica de buses Volvo utilizados en el estudio .....	119
Anexo 2. Fichas de registro.....	121
Anexo 3. Cómo realizar el test de Shapiro-Wilk en Excel .....	124
Anexo 4. Cómo realizar una prueba t de muestras emparejadas en Excel.....	131

## PRÓLOGO

La presente tesis plantea la implementación de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la eficiencia de una flota de buses de transporte terrestre interprovincial en Perú, el cual está conformado por 6 capítulos, el contenido de cada uno se describe a continuación:

**Capítulo I: Introducción:** Contiene las generalidades, el planteamiento de la problemática, los objetivos, los antecedentes de la presente investigación.

**Capítulo II: Marco teórico y conceptual:** En este capítulo se detalla los conceptos relacionados a los sistemas de un bus, gestión de mantenimiento y eficiencia de la flota de buses.

**Capítulo III: Hipótesis y operacionalización de variables:** Se establece la hipótesis y definen las variables dependientes e independientes para el presente estudio.

**Capítulo IV: Metodología de la investigación:** Se detalla tanto el tipo como el diseño utilizado para el presente estudio, la unidad de análisis y se define la matriz de consistencia.

**Capítulo V: Desarrollo de la tesis:** Se detalla el diagnóstico de la problemática, los datos técnicos de la unidad de análisis, los indicadores de mantenimiento, la recogida de datos del pre-test y el post-test, la estructura de la implementación de la mejora, el análisis económico de la implementación realizada.

**Capítulo VI: Análisis y discusión de resultados:** Se divide en dos partes la primera en un análisis descriptivo y la segunda en un análisis estadístico inferencial.

Finalmente, se exponen las conclusiones junto a las recomendaciones y se listan referencias bibliográficas al igual que los anexos.

## CAPÍTULO I.

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Descripción del problema

En la actualidad, mundialmente, las compañías que cuidan y controlan sus equipos son principalmente las industrias, las cuales ofrecen productos tangibles. Para ello implementan y diseñan diferentes tipos de mantenimientos que a un largo plazo traen diversos y variados beneficios, tales como la disminución de costos o de tiempos y el aumento de su productividad (Caro & Rubio, 2019).

Por consiguiente, con el propósito de garantizar la eficiencia y la rentabilidad de una compañía, resulta fundamental cerciorarse de que todos los equipos operen de manera óptima. En este sentido, resulta imperativo incorporar un programa de mantenimiento preventivo dentro de la estrategia de mantenimiento de la empresa, ya que prescindir de este componente podría llevar a la omisión de labores esenciales y ocasionar gastos innecesarios en soluciones que podrían evitarse.

En ese sentido, el mantenimiento preventivo es una herramienta que se utiliza para potenciar el rendimiento. Esta herramienta es bien conocida y su aplicación se remonta a 1950, año en que un grupo de ingenieros japoneses presentaron una nueva forma de mantenimiento, considerando las pautas descritas por los propios creadores de las máquinas sobre las atenciones que se tienen que tomar en cuenta para el montaje y ejecución de las máquinas, como de sus repuestos (Curo, 2018).

En el estudio de Alavedra Flores (2016), el mantenimiento preventivo se ejecuta de modo continuo para disminuir la probabilidad de fallas en cualquier equipo. Esto se lleva a cabo cuando el mismo equipo está en excelentes condiciones, antes de que suceda una falla. Por eso, el propósito de este mantenimiento es reconocer tempranamente cualquier señal de un defecto en específico, lo cual se puede conseguir entendiendo las características técnicas de los equipos por medio de los manuales respectivos. De este modo se podrá aminorar el riesgo

de averías no planificadas y reducir el requerimiento de efectuar un mantenimiento correctivo.

Este mantenimiento aparece por la exigencia de lograr la eficacia funcional de los equipos, lo cual resulta significativo para las empresas debido a que aminora los gastos a causa de los paros imprevistos, ya que si no son cuidados por la organización esto provocaría demora en la producción y, a la vez, su productividad sería afectada, significando para la empresa cuantiosas pérdidas económicas. Por ello, para lograr satisfacer los aspectos anteriores, se necesita realizar un método de trabajo que accede llevar a cabo intervenciones en las máquinas antes de que la falla ocurra (Castellón, 2018).

Hay que destacar que se encuentra una relación inversa entre el costo del mantenimiento preventivo con el correctivo, es decir, mientras más se invierta en el primero, menos se invertirá en el segundo. Es así como, para poder optimar las inversiones en equipos y el mantenimiento, se tendrá que identificar un punto base entre estos 2 tipos. Bajo este enfoque, es necesario efectuar un mantenimiento preventivo de manera periódica a los activos, dependiendo de la frecuencia de uso, con el propósito de evitar averías y afianzar el correcto desempeño de éstos (PREMIER TECH, 2020).

En el Perú, se hayan diferentes empresas que se dedican a ejecutar mantenimiento preventivo, orientados a conservar el correcto funcionamiento de máquinas por medio del control de indicadores, tales como el Tiempo medio para reparar (MTTR), el Key Performance Indicators (KPIs), la Disponibilidad y el Tiempo medio entre fallas (MTBF) (Aquino & Atalaya, 2020).

Desde otro ángulo, evitar que una flota de buses de alguna empresa sufra algún desperfecto o problema imprevisto, es quizás la mayor preocupación a la hora de gestionar el mantenimiento para éstos, debido a que un bus que pasa más tiempo en el taller que en la carretera representa mayores costos, actividades que no se ejecutan o que deben ser aplazadas hasta contar con una unidad disponible, y quejas de clientes insatisfechos a los que no se les puede ofrecer el servicio habitual por falta de buses. Todo ello impacta a la imagen corporativa y ocasiona pérdidas económicas para la misma. En tal sentido, el mantenimiento preventivo es la solución más eficiente. Cabe resaltar que este mantenimiento

no es solo para reparar un bus antes de que sufra un daño mayor, sino también para saber cuándo es el momento de reemplazar un bus.

Esta realidad no es ajena a una empresa de transporte que realiza viajes interprovinciales ya sea de pasajeros o de carga, donde la eficiencia de su flota de buses se ve afectada por la cantidad de mantenimientos correctivos y averías que se generan, debido a que no tiene un control preventivo óptimo que permita mejorar la programación de actividades, generando menos gastos de mantenimiento para la empresa.

Por esta razón, con el propósito de identificar esta situación, se llevó a cabo complementariamente una evaluación de tipo causal utilizando el enfoque de causa y efecto según el método del diagrama de Ishikawa en relación con los buses de una empresa de transporte interprovincial de pasajeros.

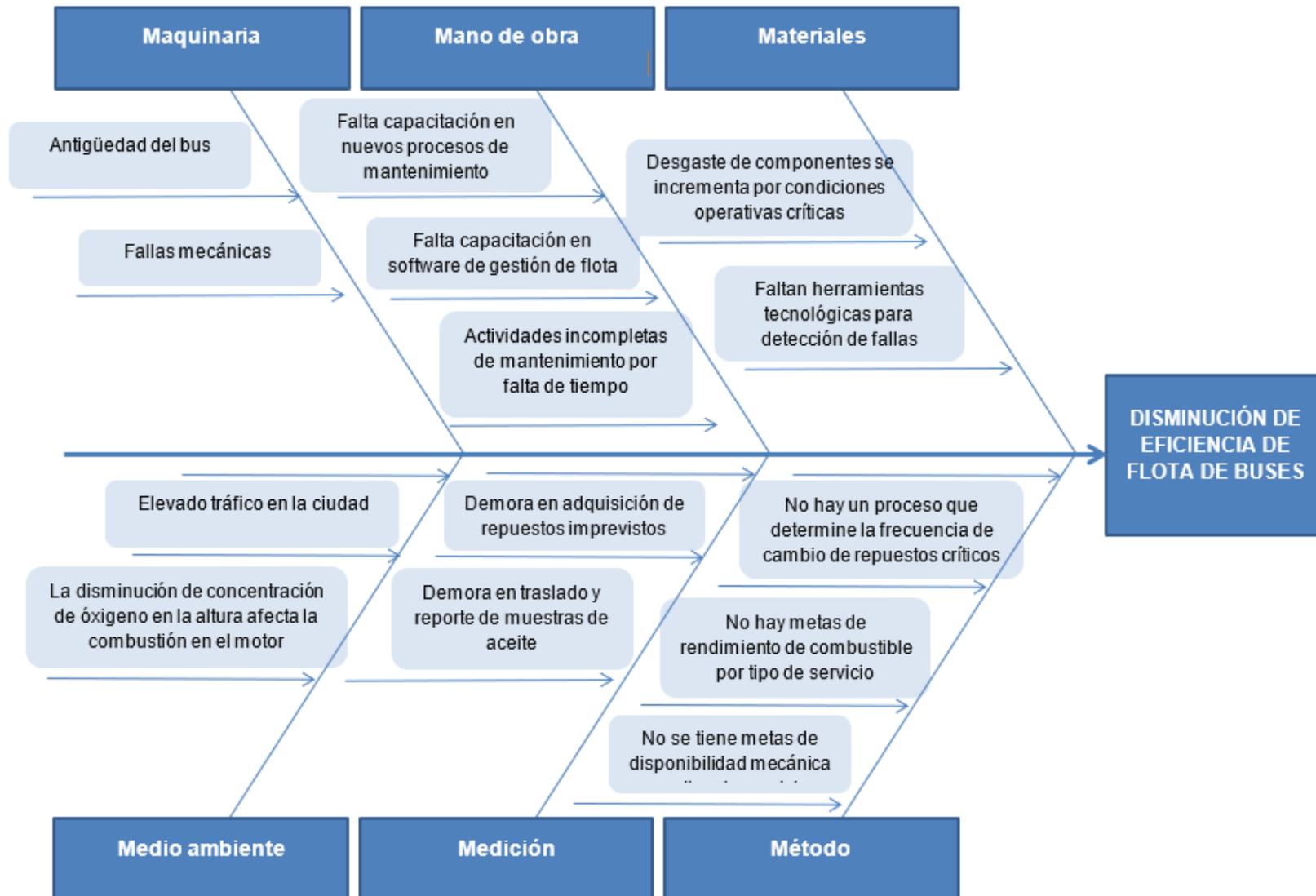


Figura 1. Diagrama de Ishikawa.

A todo esto, se suma que, conforme una unidad es más antigua, el consumo de combustible aumenta progresivamente, lo cual afecta al costo de operación y, por ende, a la eficiencia de la flota. Esta problemática es mayor al tener una flota de buses con diversos tipos de servicio (según la cantidad de pasajeros y rutas que realizan) que tiene operación continua en rutas interprovinciales, debido a que la disponibilidad mecánica disminuye (aumenta el tiempo de inmovilización en el taller), como consecuencia de las atenciones por mantenimiento que se presentan al mismo tiempo para varios buses.

Para entender mejor cuáles son las causas que afectan la eficiencia de la flota es necesaria la utilización de la herramienta estadística conocida como diagrama de Pareto. Conforme a esta representación gráfica, en situaciones donde existe una problemática con múltiples factores desencadenantes, es factible afirmar que alrededor del 20% de las causas abordan aproximadamente el 80% de la situación problemática, mientras que el restante 80% de las causas apenas incide en cerca del 20% de la cuestión en problemática. Esta herramienta nos ofrece un panorama sencillo y eficaz sobre la prioridad de los problemas. Para ello, se recopiló las causas que afectan la eficiencia de una flota de buses con servicio de transporte interprovincial y también la frecuencia con la que ocurren dentro de un mes, lo cual se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Causas que reducen la eficiencia de una flota de buses.

Causas	Frecuencia (días)	Porcentaje acumulado
Rutas con condiciones críticas	20	27
Demora en atenciones de mantenimiento	15	47
Falta de calibración de válvulas	15	67
Mantenimiento no planificado	10	80
Desfase del mantenimiento preventivo	4	85
Falta stock de repuestos	4	91
Saturación del filtro de aire	4	96
Neumáticos con baja presión	2	99
Choferes inexpertos	1	100
Total	75	

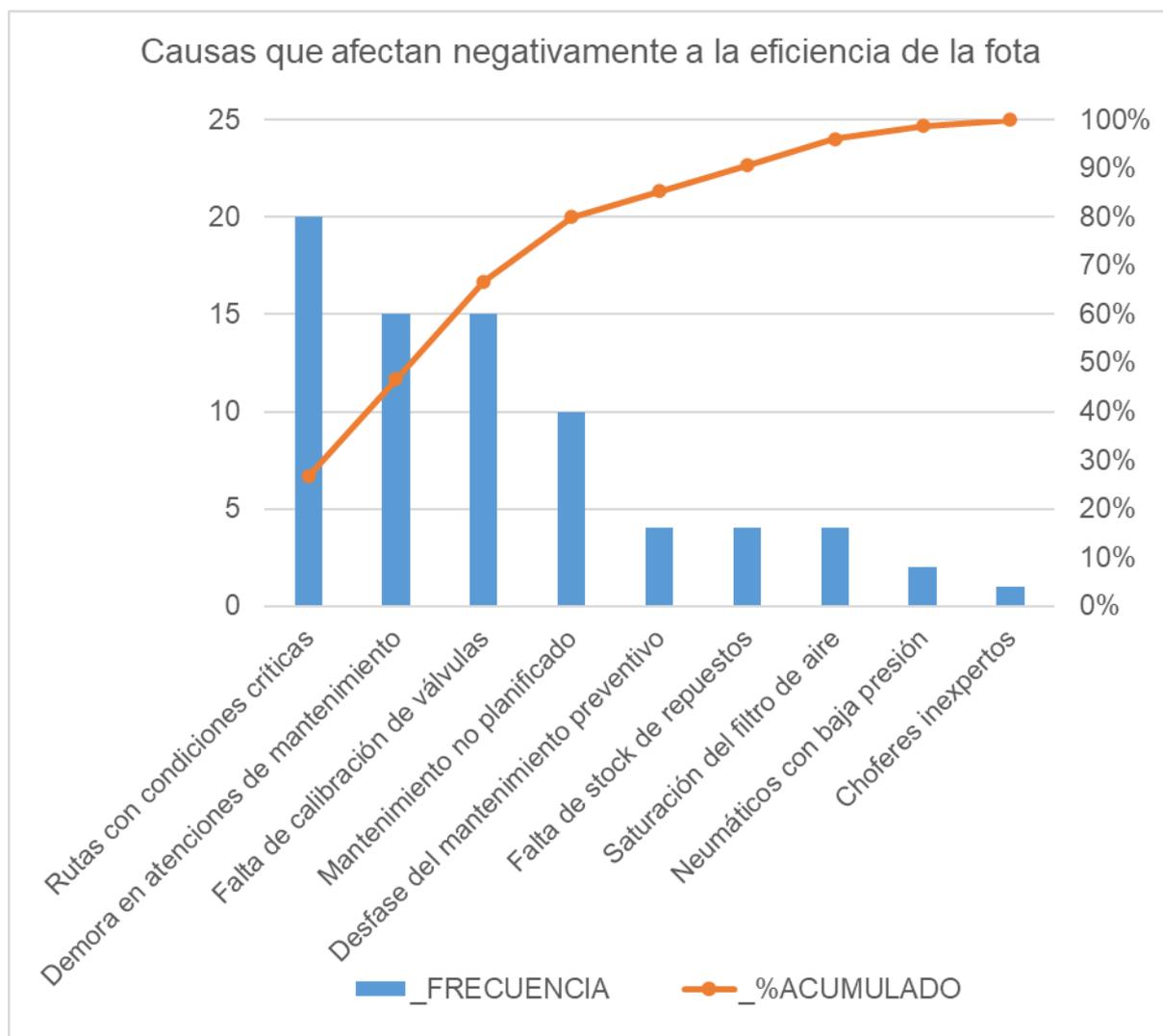


Figura 2. Diagrama de Pareto.

A partir de la figura, se muestra que las causas que producen el 80% de los defectos en los equipos de la empresa son: Rutas con condiciones críticas (27%), demora en las atenciones de mantenimiento (20%), falta de calibración de las válvulas de motor (20%) y mantenimientos no planificados (13%); por lo tanto, la empresa debería concentrarse en estos cuatro (4) aspectos para poder corregirlos.

Por otra parte, dentro del presupuesto establecido para la operación de una flota de buses, la eficiencia energética se sobrepone a la responsabilidad social que tienen como empresa. Debido a que el combustible es el principal ítem de costo en su operación (aproximadamente, se encuentra en el rango de 25 a 35% de la estructura de costos), un plan de mejora de eficiencia energética en las

empresas de transporte interprovincial repercute directa y potencialmente favorable en los estados de resultados financieros. Para una mejora en la gestión de mantenimiento se requiere relacionarlo con el rendimiento del combustible, los planes de mantenimiento, el monitoreo constante del tren motriz del vehículo, las actividades preventivas y correctivas.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejorará la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejorará el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?
- ¿De qué manera la implementación del plan de mantenimiento preventivo mejorará la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?
- ¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo reducirá los niveles de hollín en el aceite lubricante de motor de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

- Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.
- Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo reduce los niveles de hollín contenido en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

#### **1.4. Antecedentes**

##### **1.4.1. Antecedentes nacionales**

La investigación de Zavaleta (2021), tuvo como finalidad diseñar un plan de mantenimiento de la empresa Nuevo California, para mejorar la disponibilidad de los buses en base al análisis del aceite del motor. La metodología empleada fue aplicada, no experimental. En los resultados de la implementación se puede observar que el tiempo de reparación se redujo en un 76%, de igual modo, la frecuencia de fallas se redujo en un 66% (medida anualmente); asimismo, la disponibilidad aumentó en un 4,47%. Finalmente, el autor concluyó que con la implementación del plan de mantenimiento preventivo basado en el análisis de aceite es factible reducir los costos y optimizar el proceso de mantenimiento en la empresa.

El estudio de Quijada (2020), tuvo como objetivo reducir el consumo de combustible en camiones sin afectar su desempeño. Utilizó el método sistémico, básico, descriptivo simple. En los resultados se puede observar que, del total del costo de operación, un 51,21% corresponde al consumo de combustible; asimismo, la implementación del uso de deflectores mejora la aerodinámica del vehículo, lo cual reduce el consumo de combustible en un 7,69%, la implementación de un plan de mantenimiento preventivo lo reduce en 10,02%, y la implementación de controles en la logística lo reduce en 9%. Finalmente, el autor concluyó que la implementación de estas medidas reduce en gran medida el consumo de combustible.

El trabajo de Portocarrero y Rabanal (2019), tuvo la finalidad de mejorar la disponibilidad de una flota de remolcadores de una empresa de transporte de carga con el diseño e implementación de un plan de mantenimiento basado en el análisis de aceite. Los autores emplearon la investigación tecnológica de

diseño, no experimental. Los datos analizados fueron tomados de una muestra de 3 remolcadores, en el que se puede observar que, luego de la implementación del plan de mantenimiento, la disponibilidad de los equipos aumentó un promedio de 9,7%. Finalmente, los autores concluyen que con la implementación del plan de mantenimiento se logra controlar los niveles de hollín y extender la frecuencia de cambio de aceite.

El estudio de Nuñez (2018), tuvo como objetivo principal mejorar la disponibilidad de una flota de buses de la empresa de transportes "Ángel Divino". Para tal efecto, diseñó un sistema de gestión de mantenimiento. La investigación es de diseño descriptivo. En los resultados se puede observar que la principal causa de fallas se origina en el motor (38,5%), de igual forma, la disponibilidad inicial aumentó de 88% a 92,5% luego de la implementación del sistema de la gestión de mantenimiento. Finalmente, el autor concluyó que la implementación del sistema de gestión es viable en términos económicos pues tiene una tasa de retorno de 19%.

En la investigación de Rosales (2018) , se controló el nivel de hollín en el aceite lubricante en altitudes de operación mayores a 2286 m s. n. m, en motores ACERT CAT. El método de estudio fue cuantitativo, de tipo tecnológico, de nivel explicativo y con diseño preexperimental de corte longitudinal. La muestra estaba formada por un motor C9 ACERT CAT que viene funcionando en la excavadora 336 D2L de serie ZCT00295; en relación a los instrumentos usados, estos eran el Visión Link, SISWEB, Electronic Technician y el Portal de Monitoreo de Condiciones. Entre los resultados, se tiene que la acción realizada en altura (mayor a 2286 m s. n. m.) es muy severa para los motores en estudio, por lo tanto, se deben usar controles de mantenimiento y operacionales para aminorar el desgaste prematuro del equipo. En conclusión, para prevenir que el nivel de hollín se incremente más de lo permisible, se tiene que cumplir con los controles operacionales y de mantenimiento predictivo.

#### **1.4.2. Antecedentes internacionales**

La investigación de López (2021), tuvo como objetivo elaborar un procedimiento para evaluar el mantenimiento implementado a la flota de vehículos de una empresa dedicada al transporte de combustible. Para su análisis aplicó métodos

estadísticos. En sus resultados se observó que la disponibilidad de estos vehículos posee un valor de 56,1%; el mantenimiento correctivo es el más aplicado superando al preventivo en un 55,6%. Finalmente, el autor concluye que el procedimiento es muy efectivo pues permite identificar los equipos críticos, los cuales fueron identificados como los de mayor frecuencia en el motor, así como la influencia del mantenimiento en la parte económica de la empresa.

El trabajo de Gómez (2021), diseñó un plan de mantenimiento preventivo para el parque automotor que garantice la disponibilidad mecánica de los vehículos para el servicio de movilidad. Para esto, utilizó herramientas como el diagrama de Pareto, FODA y análisis de criticidad, así como para examinar el nivel de gestión de mantenimiento en la empresa. Estas acciones estaban dirigidas en aquellos elementos que mostraban la mayor recurrencia de fallas y, por ende, eran las más críticas. A la vez, para conservar los vehículos en un estado eficiente planteó que las tareas de mantenimiento sean planificadas en un adecuado período, consiguiendo así afianzar su disponibilidad y el cumplimiento de los servicios planeados. También desarrolló diferentes formatos para el control del mantenimiento de los vehículos, con el objetivo de hacer la verificación, monitoreo y programación de los mantenimientos. De ello, pudo identificar que las situaciones más críticas eran las fallas de frenos, fallas en el motor y en la carrocería. En conclusión, para que el plan de mantenimiento sea más eficiente, se incorporó la programación de mantenimiento sugerido por el fabricante, así como los materiales refrigerantes, de engrase y aceites, acordes con el manual del propietario de cada marca de vehículo.

El estudio de Raposo (2019), tuvo como finalidad mostrar como la implementación de una política de mantenimiento basada en el análisis del aceite lubricante mejora la disponibilidad de los buses. Su estudio se enfocó en el contenido de hollín, viscosidad, TBN (total número base), contenido de partículas, desgaste y contaminación por metales en el aceite lubricante. En los resultados se puede observar que la concentración de hollín y hierro en el aceite afectan el rendimiento de los motores diésel y, por ende, también afecta a la disponibilidad de los buses. Finalmente, el autor concluye que monitorear las

condiciones del aceite del motor es una gran herramienta para aumentar la disponibilidad de buses, pues previene las fallas.

La investigación de Illanes (2019), tuvo la finalidad de mejorar la disponibilidad de buses de la empresa de transportes WaynaBus implementado un plan de mantenimiento basado en el análisis del aceite lubricante. En su investigación aplicó el método deductivo, aplicado, de diseño, pre experimental. En sus resultados se pudo observar que el plan de mantenimiento inicial era deficiente, evidenciado esto en el bajo nivel de disponibilidad de buses (72,82%), el cual aumentó después de la implementación a 97,84%; el tiempo promedio de parada en un inicio era de 24,3 horas a la semana, el cual se redujo a 2,01 horas. De igual modo, el tiempo de operatividad de los buses aumento de 64,05 a 91,18 horas semanales. Finalmente, el autor concluye que la implementación de un plan de mantenimiento basado en el análisis del aceite mejora la disponibilidad de los buses de la empresa.

Finalmente, Jarro (2017), tuvo como objetivo mejorar el mantenimiento de una flota de buses interprovinciales proponiendo un plan de gestión de mantenimiento. La población de su estudio se llevó a cabo a 50 choferes de unidades de transporte. La recolección de datos se efectuó a través de una encuesta enfocada en el mantenimiento de las unidades. En los resultados se puede observar que solo el 56% de choferes emplea mantenimiento preventivo, el otro 44% el mantenimiento correctivo, de igual forma, un 80% de los 50 choferes indican que no recibieron ninguna capacitación en materia de mantenimiento. Por último, el autor concluye que es necesario la implementación de un plan de gestión de mantenimiento asistido por software para mejorar el mantenimiento de una flota de buses interprovinciales; asimismo, indica que el mantenimiento preventivo es el más adecuado y genera mayores ventajas.

## CAPÍTULO II.

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1. Marco teórico

##### 2.1.1. Bus

Es un automóvil diseñado para llevar personas, compuesto por un armazón y una estructura adaptada para desplazar hasta 90 pasajeros, conductor incluido (NTE INEN 1668, 2015).

##### 2.1.1.1. Principales componentes

###### Chasis

Es una parte crucial al momento de ensamblar un vehículo. En ese sentido, el chasis es el armazón metálico que cumple la función de proporcionar apoyo al resto de los componentes tales como el motor, carrocería y de más de componentes del vehículo, también es el componente encargado de soportar las cargas que trasladará el vehículo.



Figura 3. Chasis de un bus.

###### Motor

El motor aprovecha la transformación de energía calorífica proporcionada por el combustible transformada en energía cinética mediante la fuerza expansiva de los gases en combustión dentro del motor. A la vez, la energía que se transmite a las ruedas es la energía útil del proceso. Para el caso del motor diésel, éste es un motor térmico de combustión interna en donde el auto encendido del combustible se consigue por la alta temperatura del aire al final del proceso de compresión del aire en el interior del cilindro (Consuegra, 2007).

Los motores diésel están formados por las siguientes partes:

**Bloque de cilindros:** Es una parte básica del motor, donde están los cilindros, árbol de levas, cigüeñal, entre otros. Todas las otras partes del motor se montan en él, y, por lo general, son de fundición de aluminio o hierro. Pueden tener los cilindros en forma de “V” o en línea.

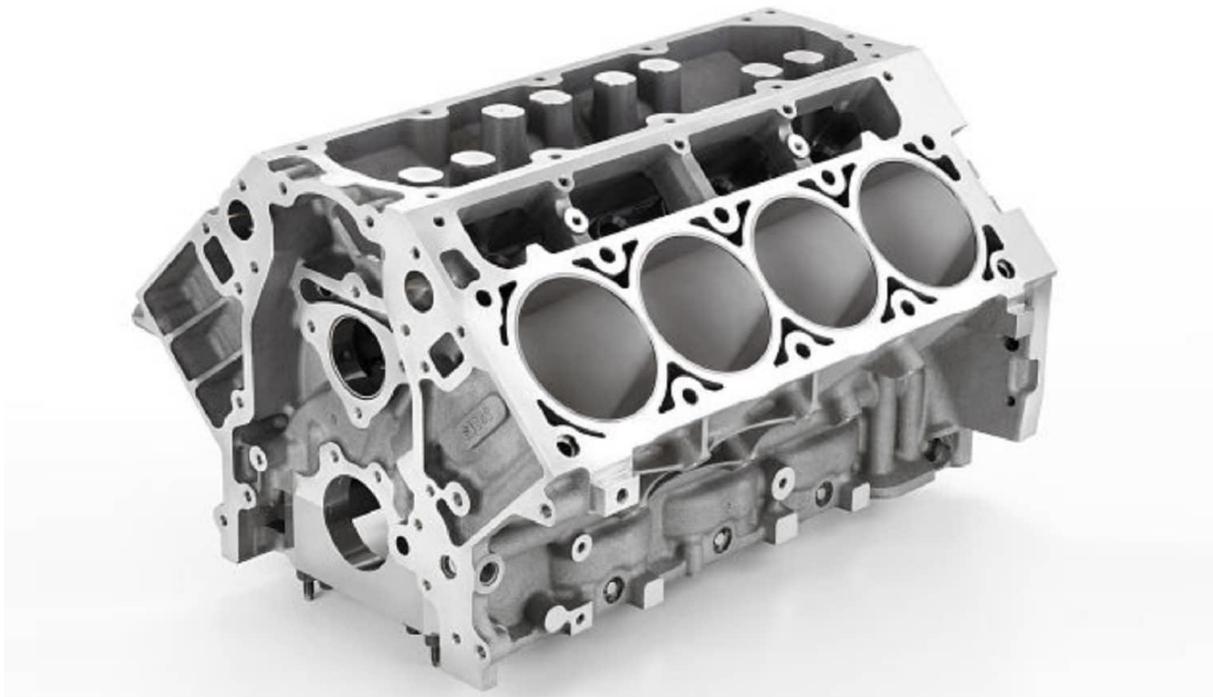


Figura 4. Bloque de cilindros.

**Cigüeñal:** Es la pieza mecánica que transforma el vaivén de los pistones en el giro circular del cigüeñal. Se encuentra instalada en el bloque del motor, en los cojinetes principales que se mantienen lubricados <sup>15</sup>.



Figura 5. Cigüeñal.

**Culata:** Este elemento cierra a los cilindros por la parte superior, suelen ser de fundición de aluminio o hierro. Es útil para soportar otros elementos del motor como son: válvulas, balancines, inyectores, etc. Entre el bloque del motor y la culata se monta una junta que queda prensada entre los dos, la cual es conocida como empaquetadura de culata.



Figura 6. Culata.

### **Sistema de transmisión**

Encargado de enviar la potencia que desarrolla el motor a las ruedas motrices del bus para que pueda moverse. Esta transferencia es factible gracias a un conjunto de elementos que transmiten la potencia del cigüeñal hasta las ruedas para que giren. Es importante conocer los distintos elementos del sistema para tener un buen conocimiento de su operatividad, como también de los tipos de transmisión con los que puede estar equipado un bus. Entre los elementos del sistema tenemos: Embrague, caja de velocidades, árbol o eje de transmisión, diferencial y palieres (Flexfuel, 2021).

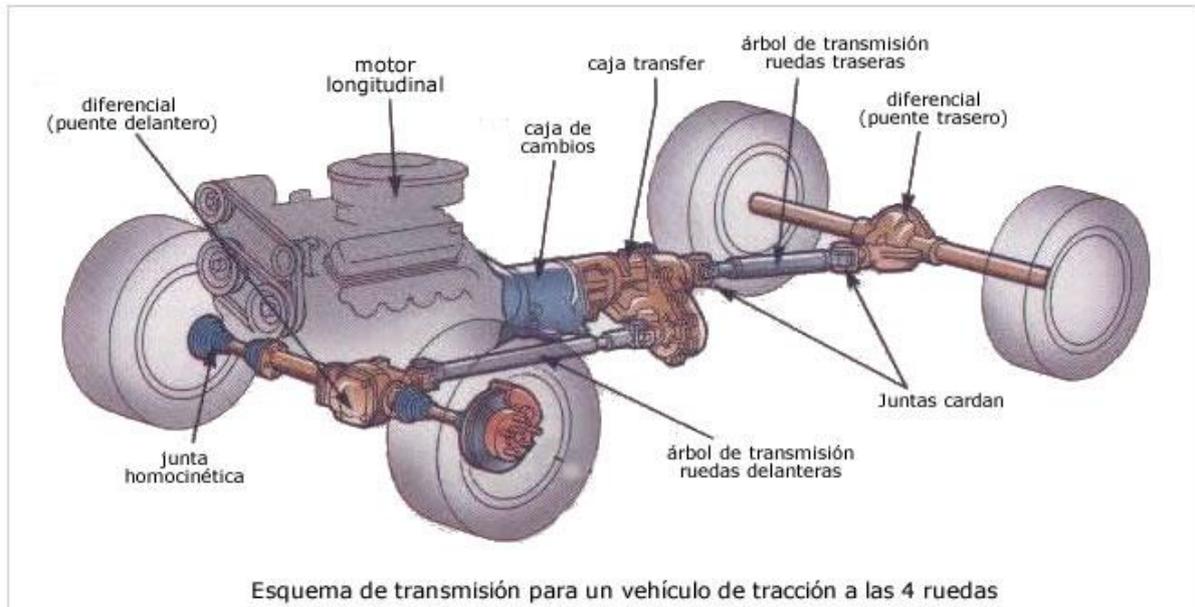


Figura 7. Sistema de transmisión.

### Sistema de dirección

Su función es transmitir el movimiento del volante hacia las ruedas y esto lo hace por medio de un conjunto de componentes que operan de forma coordinada. El volante acciona la columna de dirección (elemento mecánico que lo une con la caja de dirección), y esta barra o columna no es muy rígida en los buses modernos, sino que está conformada por distintas piezas para prevenir lesiones graves en caso de que sucediera algún accidente. De igual forma, este sistema facilita conducir el vehículo sin esfuerzo, efectuando la conducción de este sistema por medio del volante operado por el chofer, en ese sentido, su función es brindar una dirección fácil, ligera y de correcto movimiento de ruedas y ejes. Entre los diferentes sistemas de dirección que existen tenemos al sistema de cremalleras, sistema de bolas recirculantes, dirección hidráulica y electrohidráulico (Cómo Funciona, 2022a).

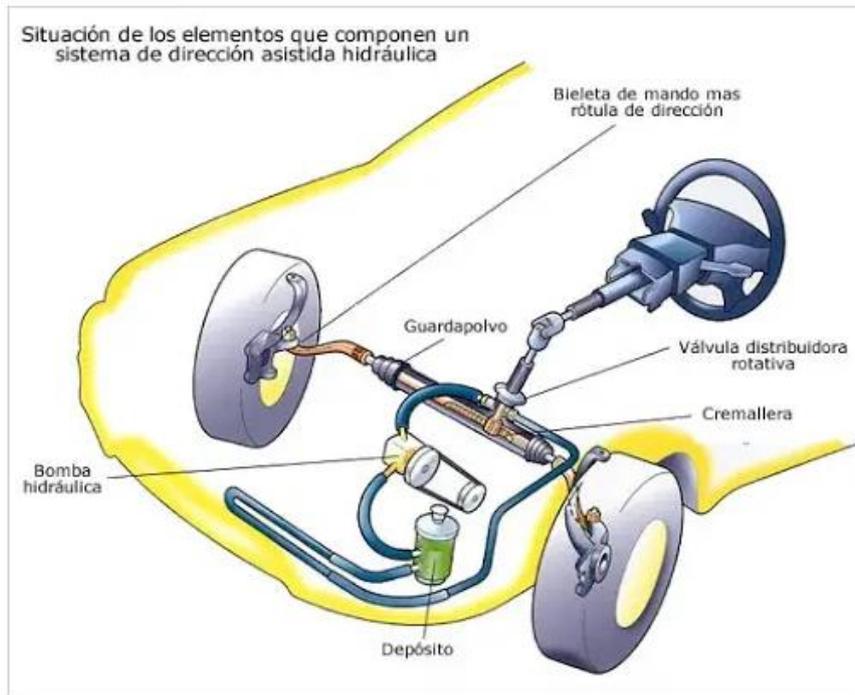


Figura 8. Sistema de dirección.

### Sistema de frenos

El sistema de frenado posibilita reducir la velocidad o detener por completo el vehículo mientras está en movimiento. Este proceso comprende una etapa de conversión en la cual la energía cinética del movimiento se cambia en calor, generado por la fricción al presionar el pedal de freno, donde la mayor fuerza de frenado se concentra en las ruedas delanteras. El proceso de frenado trata de que un cuerpo entre en contacto con otro cuerpo en movimiento, esto causa una fuerza de fricción, la cual se opone al movimiento del cuerpo hasta que éste llegue a detenerse. En tal sentido, la fuerza de fricción es independiente del área aparente para fricción de contacto entre cada cuerpo.

En un bus, el área de contacto abarca los elementos que logren que el vehículo se detenga; esta área hace referencia al espacio que hay entre los discos y pastillas, que son componentes sistema de frenado. Para el caso de los frenos de tambor, estos emplean bandas y campanas; otras áreas que se puede nombrar son las llantas y la superficie donde circula el bus (Cómo funciona, 2022b).

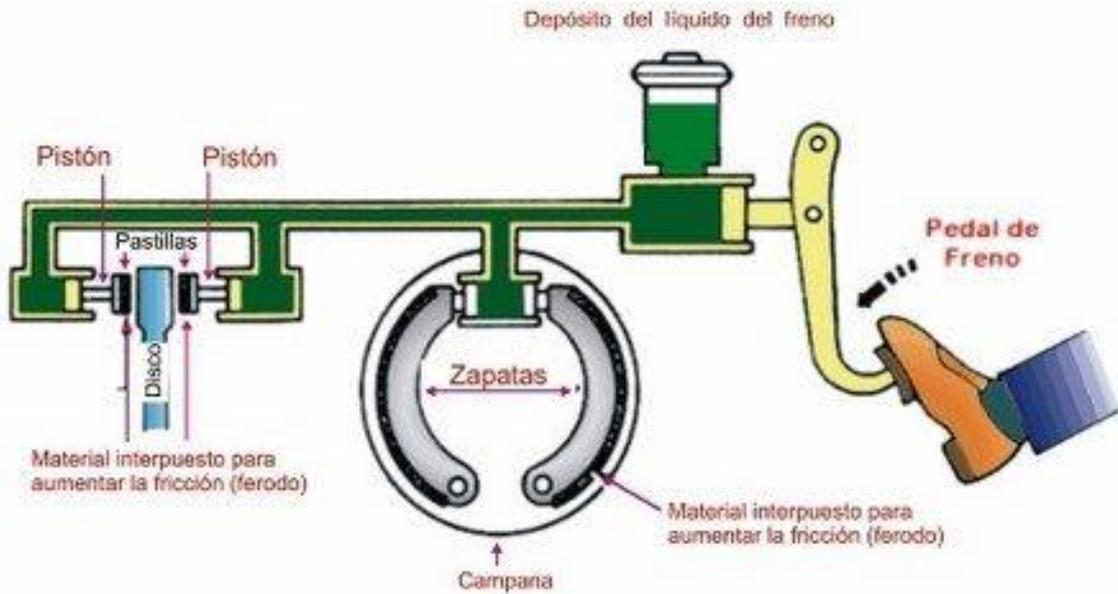


Figura 9. Sistema de frenos.

### Sistema de suspensión

Su principal función es asegurar una conducción más cómoda y suave independientemente del nivel de carga que transporte el vehículo, con el fin de absorber los distintos tipos de irregularidades del terreno y que sean lo menos perceptibles posible, tanto para el conductor como para los ocupantes del vehículo, haciendo que ésta no esté expuesta a continuos movimientos bruscos ni balanceos. (Euromaster, 2021).



Figura 10. Sistema de suspensión.

### **2.1.2. Gestión de mantenimiento**

Para Rodríguez (2008), esta gestión consiste en una serie de tareas de diseño, planificación y control que tienen como fin aminorar los costos derivados de la incorrecta operatividad de los equipos. A su vez, especifica que, aparte de las labores típicas de mantenimiento, se tiene que añadir la formación del operario.

En su investigación Castillo (2013), enfatiza que, cuando todas las tareas de mantenimiento se dirigen bajo un esquema orientado a la dirección y a una filosofía gerencial, esto da origen a la gestión del mantenimiento. En ese sentido, la gestión de mantenimiento se la puede definir como todas las tareas ejecutadas con el propósito de mantener los equipos y las instalaciones en condiciones de operatividad eficiente, segura y económica. Asimismo, para implementar el mantenimiento de forma eficiente, se tendrá que disponer de una base confiable de datos de los equipos como de las maquinarias, así como tener un programa de inspección oportuna (Leal & Zambrano, 2006).

### **2.1.3. Mantenimiento**

Según Botero (1993), el mantenimiento es considerado como un grupo de actividades que se realizan a los equipos, con la finalidad de prevenir, reparar averías o fallas con tal de evitar que los equipos dejen de funcionar y continuar realizando sus servicios. Para Barros (2015), el mantenimiento es la suma de actividades orientadas a conservar o reacondicionar un elemento, equipo o sistema, en una condición donde puedan ejecutar su función correctamente. Entendiéndose como función cualquier tarea que un elemento, equipo o sistema realiza, bajo el criterio operacional.

La norma EN-13360 clasifica al mantenimiento en 2 grupos: preventivo y correctivo. A partir de esta clasificación el preventivo se puede subclasificarse en 2 tipos: centrado en la condición (predictivo) y predeterminado (sistemático). El mantenimiento correctivo, también se puede subdividir en 2 tipos: programable (diferido) o inmediato (urgente) (ver Fig. 11).

En cambio, según la norma AFNOR NFX 60-010, existen 3 tipos de mantenimiento para mantener o restablecer un activo en condiciones de calidad de servicio, siendo estos: preventivo, correctivo y predictivo (ver Fig. 12).

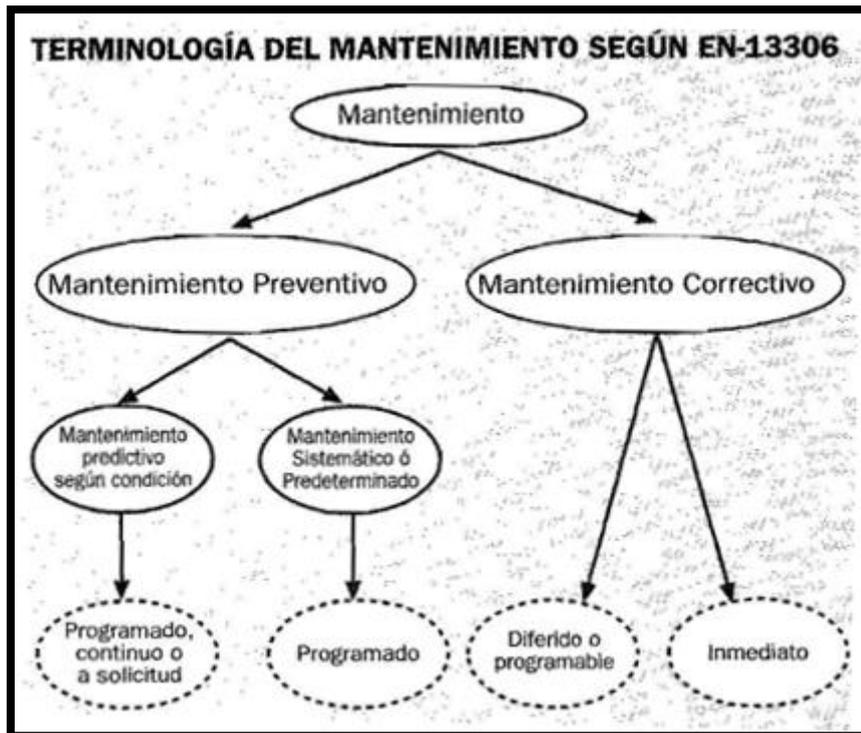


Figura 11. Terminología del mantenimiento según la norma EN-13306.

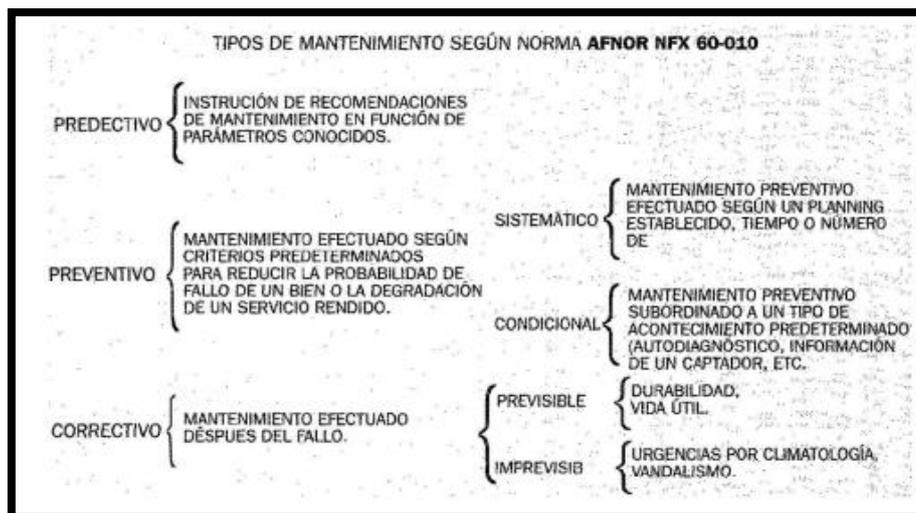


Figura 12. Tipos de mantenimiento según la norma AFNOR NFX 60-010.

### 2.1.3.1. Tipos de mantenimiento

Existen 2 tipos de mantenimiento: de conservación y de actualización.

#### 2.1.3.1.1. Mantenimiento de conservación

Su propósito radica en contrarrestar el desgaste de los dispositivos debido a su utilización, en consonancia con las condiciones físicas y químicas a las que fueron expuestos (E. Fernández, 2018). Se puede dividir en:

## Mantenimiento preventivo

De acuerdo con Mobley (2004), existen diversas interpretaciones del mantenimiento preventivo; no obstante, todos los sistemas de administración de mantenimiento preventivo están enfocados en el factor temporal. Es decir, las actividades de mantenimiento se fundamentan en el tiempo transcurrido o en las horas de operación. La curva de la bañera (figura 13) indica que durante las primeras semanas de funcionamiento una máquina nueva tiene una alta probabilidad de falla debido a problemas de instalación. Después de esta fase inicial, la posibilidad de averías es relativamente reducida durante un lapso prolongado. No obstante, después de este período, la probabilidad de fallos aumenta significativamente a medida que transcurre el tiempo. En la administración del mantenimiento preventivo, las labores de reparación o reconstrucción de las máquinas se planifican de acuerdo con la estadística MTTF (Mean Time To Failure, o, en español, Tiempo medio entre fallas).

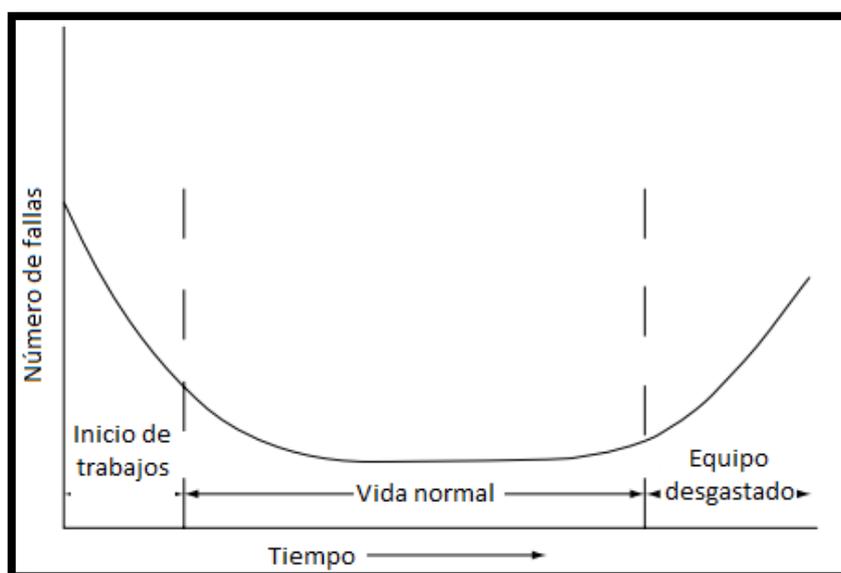


Figura 13. Curva de bañera.

El desafío de esta aproximación radica en que el modo de operación y las variables particulares del sistema de la instalación influyen directamente en la duración habitual de la maquinaria en funcionamiento.

El tiempo medio entre fallas (MTBF) no será el mismo para una bomba que maneja agua a una que maneje lodos abrasivos. El resultado normal de utilizar las estadísticas del MTBF es para programar el mantenimiento que permita

reducir la probabilidad de una falla potencial porque nos brinda un promedio de tasa de falla que nos permitirá poder proyectar tiempos en los cuales una falla pueda ocurrir y con ello, poder elaborar un plan de acción.

Las categorías del mantenimiento preventivo (MP) son las siguientes (Pérez, 2021):

- Cubrimiento del MP: Verificar el porcentaje de equipos o máquinas críticos, para los cuales se han elaborado los planes del MP.
- Realización del MP: El porcentaje de rutinas del MP que han sido finalizadas según el plan.
- Trabajos ocasionados por las repeticiones del MP: La cantidad de tareas de mantenimiento que han sido demandadas y que se origina de las rutinas del MP.

Se debe tener en cuenta los siguientes criterios para implementar un correcto MP.

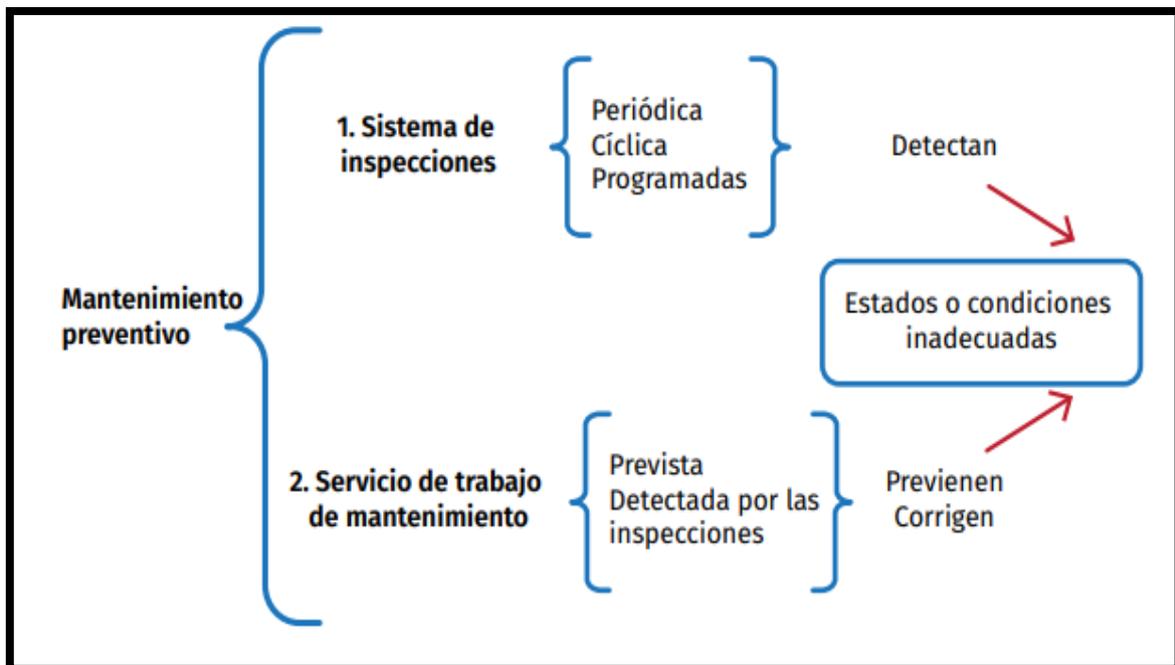


Figura 14. Implementación del mantenimiento preventivo.  
Nota: (Pérez, 2021).

Ahora, con respecto a las etapas para la implementación de un MP, se define lo siguiente:

- Planificación: Se determina las tareas a ejecutar, con qué grupo de trabajo se va a laborar, qué equipos y herramientas se van a usar y cuál es el tiempo tomado por cada trabajo.
- Programación: Se establece el día, hora y espacio donde se van a realizar las tareas planeadas con anticipación.
- Ejecución: Realización de las tareas establecidas previamente.
- Control: Validación y verificación de las actividades realizadas.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disminuye las anomalías o fallas y los tiempos muertos (aumentando la disponibilidad de las máquinas, equipos e instalaciones).	Todo programa que se inicia genera un incremento en los costos.
Aumenta la vida útil de las máquinas, equipos, componentes e instalaciones.	
Hay una mejora efectiva en el uso de los recursos.	Para iniciar se necesita de tiempo extra en el trabajo del personal de mantenimiento.
Se disminuyen o se reducen, los niveles de inventarios de repuestos.	Búsqueda de la información, como manuales, historial, fichas técnicas, repuestos, inventarios, reparaciones, etc. Actualizar información, generación de procedimientos, instructivos.
Hay un ahorro económico a largo y mediano plazo.	
Elaboración de planes de mantenimiento.	
Se definen indicadores de gestión o de desempeño.	Tiempo para transferir la información recolectada.
Se documentan procedimientos, instructivos. Se mantiene actualizada la información.	
Se implementan buenas inspecciones de rutinas.	
Implementación de un buen programa de lubricación.	Técnicos de mantenimiento, trabajo de campo adicional. Taxonomía de los equipos. Materiales utilizados, tiempos, etc.
Definición de los presupuestos.	
Se aumenta la seguridad industrial para las personas.	Dotación, ordenamiento de almacenes.
Se mejora el enfoque de contaminación ambiental.	Rotación de repuestos, actualizar información, inventarios.
Disminución de pagos de horas extras, que se generan continuamente.	Se elevan costos, por entrenamientos, capacitaciones para el personal.
Se aumenta el cumplimiento de la entrega oportuna de producción.	

Nota: (Pérez, 2021)

### **Mantenimiento predictivo**

Para Mobley (2004), al igual que con el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo cuenta con múltiples definiciones. Para ciertos enfoques, el mantenimiento predictivo involucra la monitorización de las vibraciones de maquinaria rotativa con el fin de identificar problemas en etapas tempranas y prevenir fallos severos. Para otros, implica la supervisión de imágenes infrarrojas de interruptores eléctricos, motores y otros dispositivos eléctricos para detectar anomalías en proceso.

La premisa fundamental del mantenimiento predictivo es que la monitorización regular de la condición mecánica de los equipos asegurará el intervalo máximo entre las reparaciones y reducirá al mínimo la cantidad y el costo de las interrupciones no planificadas causadas por fallos.

Este mantenimiento es una filosofía que simplemente utiliza el estado real de funcionamiento de los equipos de la planta y sistemas para optimizar el funcionamiento total de la planta. Un plan integral de gestión del mantenimiento predictivo está estructurado con las herramientas más rentables, es decir, monitorización de vibraciones, termografía, tribología, entre otras, para obtener los sistemas críticos de la planta y, basándose en estos datos reales, programar todas las actividades de mantenimiento en función de las necesidades. Incluyendo el mantenimiento predictivo en un plan integral de gestión del mantenimiento, permitirá optimizar la disponibilidad de la maquinaria y reducir en gran medida los costos de mantenimiento.

### **Mantenimiento Correctivo**

También conocido como mantenimiento reactivo, este tipo de mantenimiento es uno de los más aplicados a nivel mundial, éste es aplicado cuando un equipo o máquina dejan de funcionar debido a la presencia de fallos o averías. Su objetivo principal es poner en funcionamiento el equipo lo antes posible con tal de no afectar la productividad. La mayoría de las empresas están enfocadas en el mantenimiento correctivo, pues no cuentan con el conocimiento, herramientas, repuestos o personal calificado. Este tipo de mantenimiento se lleva a cabo por el fracaso al no diagnosticar a tiempo la falla o avería.

#### **2.1.3.1.2. Mantenimiento de actualización**

Tiene como objetivo resarcir la obsolescencia tecnológica o las nuevas demandas que durante la construcción no había o no fueron tomadas en consideración, sin embargo, que en la actualidad sí tienen que serlo.

#### **2.1.4. Eficiencia de la flota de buses**

Cualquier responsable de flotas comprende que una gestión de flota considerada eficiente es aquella en la que se minimizan los gastos, se optimizan los procedimientos y se administra el tiempo de forma adecuada. La eficiencia equivale a sacar el mayor provecho posible de los recursos disponibles a cambio de brindar un servicio que se ajuste a las demandas del mercado (Sanz, 2020a).

Para Villalobos (2010), la gestión de flotas se divide en dos dimensiones. La primera es la dimensión operativa, que se ocupa de resolver de manera óptima los problemas que surgen durante la ejecución del servicio. Esto abarca tareas como el mantenimiento de equipos, la capacitación y motivación del personal. La segunda dimensión es la estratégica, la cual está relacionada con la configuración de la flota y sus operaciones. Incluye el diseño y la optimización del sistema, así como la gestión de la infraestructura. También abarca proyectos de mejora significativa o avances tecnológicos necesarios para garantizar la sostenibilidad.

Para esta investigación se establecieron 3 dimensiones que permitirán detallar el comportamiento de la variable dependiente en estudio:

##### **2.1.4.1. Rendimiento del combustible**

Esta medida señala la distancia recorrida por el vehículo por unidad de volumen de combustible consumido. Se expresa en kilómetros o en millas por litro o galón y su recíproco es el consumo por distancia recorrida. En este caso, se hace un análisis descriptivo usando los indicadores [km/L, km/gal] (Y. Fernández, 2020).

Se sugiere hacer un seguimiento por grupos de vehículos de características similares, por ejemplo, marca, potencia del motor y antigüedad (Alcantar et al., 2021).

Para Sanz (2020b), el rendimiento de un vehículo en relación al consumo de combustible es la distancia (en km) que puede recorrer con un 1 L de

combustible, aunque por lo común se suele representar como la cantidad de litros que consume a los 100 km. Entender este indicador en la gestión de una flota de vehículo permitirá determinar si el uso de este recurso es el apropiado.

En resumen, el rendimiento es la relación que existe entre la distancia que un vehículo se desplaza y la cantidad de galones de combustible consumidos para desplazarse dicha distancia, y se expresa en km/gal.

El rendimiento del combustible se determina con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento de combustible} = \frac{\text{Recorrido}}{\text{Combustible utilizado}} \left[ \frac{\text{km}}{\text{gal}} \right] \quad (1)$$

#### 2.1.4.1.1. Formas de calcular el rendimiento de un vehículo

Existen diferentes formas de calcularlo:

- **Rendimiento en ciudad:**

Se determina en pruebas de laboratorio que simulan las condiciones de conducción en la ciudad.

- **Rendimiento en carretera:**

Se asemeja al desempeño que un vehículo lograría en carretera debido a las condiciones constantes de aceleración. Esta prueba es la que genera la mayor eficiencia en términos de kilometraje por galón.

- **Rendimiento combinado:**

La prueba se diseña de tal manera que combina los dos niveles de rendimiento anteriores, imitando los tipos de conducción que un vehículo experimentará tanto en entornos de carretera como en áreas urbanas.

#### 2.1.4.1.2. Beneficios de medir el rendimiento del combustible

Llevar un registro sobre el rendimiento del combustible por galón ayuda a:

- Tener control sobre el consumo de combustible del vehículo.
- Reducir el margen de error en el cálculo del consumo de combustible por cantidad de kilómetros a recorrer para llegar a destino de una flota de vehículos pesados.
- Cuidar la economía de la compañía propietaria de los vehículos.
- Reconocer rendimientos deficientes.

- Tener un parámetro más certero y conveniente del consumo de combustible para su medición en vehículos pesados.

#### **2.1.4.2. Análisis del aceite lubricante**

El análisis del aceite es una parte importante del mantenimiento del motor, pues proporciona información sobre el estado del lubricante, su idoneidad para uso posterior y, en cierta medida, información sobre el estado de la maquinaria lubricada con el aceite usado. La condición previa para un análisis de aceite es valiosa y su interpretación es que se tome una muestra según un procedimiento fiable (Jabo & Midhat, 2021).

##### **2.1.4.2.1. Técnicas de análisis del aceite**

Teniendo en cuenta a Jabo y Midhat (2021), los análisis de aceite se dividen en 3 tipos:

- Análisis de la concentración de partículas de desgaste en el lubricante, el cual puede ser desarrollado sobre el terreno o en un laboratorio.
- Análisis de los restos de desgaste, en el cual se trata de analizar la forma, el tamaño, el número, la composición y otras características de las partículas provenientes del desgaste, las cuales son analizadas para identificar el estado de desgaste. Comúnmente es realizado en un laboratorio.
- Análisis de la degradación del lubricante, el cual se utiliza para analizar las características físicas y químicas del lubricante para determinar el estado del lubricante, esto puede llevarse a cabo en el campo o en un laboratorio.

##### **2.1.4.2.2. Importancia de la aplicación del análisis del aceite**

Para Jabo y Midhat (2021), los propósitos de la aplicación del análisis del aceite en vehículos son los siguientes:

- Proporciona recomendaciones sobre el estado del aceite, para optimizar los intervalos de tiempo de cambio de aceite.
- Permite evaluar el estado del motor y sus accesorios, pues permite la detección temprana de problemas que pueden afectar el correcto funcionamiento del motor.

### 2.1.4.2.3. Parámetros en el análisis del aceite

Rojas et al. (2019) indican que es necesario tomar los siguientes parámetros en el análisis de aceites.

- **Lubricación**

Es la acción de reducir la fricción o roce entre dos piezas mecánicas que se encuentren en movimiento relativo con el fin de disminuir el desgaste y aumentar la vida útil de las piezas mecánicas. Asimismo, también ayuda en el control de la temperatura, reducir la contaminación, evitar la corrosión y reducir el gasto de energía.

- **Lubricante**

Es la sustancia que se encuentra a cargo de la lubricación; se puede encontrar en diferentes estados: sólido, líquido o gaseoso. Su finalidad es proteger la máquina y evitar que disminuya su rendimiento.

- **Desgaste**

Es el continuo desprendimiento de material generado por el roce de dos piezas mecánicas, este desprendimiento se mezcla con el lubricante. Existen varios tipos de desgaste, tales como: adhesivo, corrosivo, abrasivo, erosivo y por fatiga.

- **Viscosidad**

Es una propiedad de los lubricantes, la cual depende de la temperatura y es representada como la resistencia del fluido a un esfuerzo cortante.

- **Contaminante**

Es toda sustancia o material que se encuentra en el lubricante que no pertenezca a su composición original.

- **Aditivo**

Son sustancias que se agregan para mejorar las propiedades de los lubricantes y contribuyen a disminuir el desgaste.

### 2.1.4.3. Disponibilidad mecánica

Alavedra Flores (2016), menciona que la disponibilidad de un equipo, máquina o sistema es importante; ya que nos permite conocer o saber cuánto tiempo puede funcionar una máquina y, por tanto, cuánto puede rendir ésta.

Por otra parte, Pérez (2021), comenta que la disponibilidad es la probabilidad de conocer cuánto tiempo una máquina es capaz de durar en actividad y cuánto ésta puede ser de utilidad.

En ese sentido, este parámetro es el indicador fundamental en mantenimiento y se conoce como la probabilidad en que un componente esté condiciones normales por un lapso de tiempo determinado o ,de otra manera, es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada (Pascual, 2008).

#### 2.1.4.3.1. Cálculo de la disponibilidad mecánica

Ahora, con respecto a su cálculo, Zegarra (2016) señala que, para un período determinado, la disponibilidad es obtenida considerando los siguientes indicadores de mantenimiento:

- El MTBF o “Tiempo medio entre fallas”, se refiere al período promedio durante el cual la máquina opera sin presentar ninguna forma de fallo, ya sea debido a prácticas deficientes por parte de los operarios, reparaciones previas inadecuadas, instalación de repuestos defectuosos o defectos de fabricación.

$$MTBF = \frac{\text{Horas totales del período analizado}}{\text{N}^\circ \text{ de fallas}} \text{ [ horas]} \quad (2)$$

- El MTTR o “Tiempo medio para reparar” indica el tiempo promedio que requieren las labores dedicadas a la reparación y mantenimiento de los activos. Finalmente, el MTBM o “Tiempo promedio entre mantenimientos” representa el promedio de tiempo que transcurre entre los períodos de funcionamiento antes de llevar a cabo actividades de mantenimiento similares.

$$MTTR = \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas en mantenimiento}}{\text{N}^\circ \text{ de intervenciones por mantenimiento}} \text{ [ horas]} \quad (3)$$

En función de ambos indicadores se calcula la disponibilidad de la siguiente forma:

*Disponibilidad mecánica (1ª forma) =*

$$\frac{N^{\circ} \text{ de horas en operación}}{N^{\circ} \text{ de horas en operación} + N^{\circ} \text{ de horas en mantenimiento}} [\%] \quad (4)$$

$$\text{Disponibilidad mecánica (2ª forma)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} [\%] \quad (5)$$

Los valores de la disponibilidad están en el intervalo de 0 a 1, en ese sentido, mientras más cerca esté a 1, será mejor. Por ende, se puede mejorar este valor por medio del aumento de la confiabilidad (incrementado el MTBF) o de la mantenibilidad (reduciendo el MTTR) (Zambrano et al., 2015).

#### **2.1.4.3.2. Mantenimiento como focalizador de la disponibilidad**

Algo que distingue a las compañías líderes en disponibilidad es que consideran que la confiabilidad no es algo que es producto del esfuerzo en la reparación, sino que están convencidas de que la eliminación de estas fallas es su objetivo principal.

En relación con esto, un estudio detallado del problema, junto con un plan de mejora de la confiabilidad sólida, es la base para la supresión de muchas tareas innecesarias. En consecuencia, la empresa es dimensionada para administrar un sistema de monitoreo centrado en la condición y fija una gran prioridad para suprimir paradas o fallas (Mesa et al., 2006).

#### **2.1.4.4. Niveles de hollín**

En general, se conoce como hollín al material particulado formado durante la combustión de combustibles carbonosos bajo condiciones subestequiométricas (con déficit de aire). En el caso de los buses, el hollín proviene de la combustión del petróleo diésel en condiciones de mezcla con poco exceso de aire (Stanmore et al., 2001).

La presencia de hollín en la combustión es indeseable por varias razones. Indica ineficiencia en el proceso de combustión y contribuye a problemas ambientales, ya que las estructuras activas del hollín promueven reacciones como la

generación de ozono a partir del HNO<sub>3</sub> y el NO<sub>2</sub> en la troposfera, así como la descomposición del ozono estratosférico (Wei et al., 2001).

Asimismo, el hollín no solo genera impactos ambientales, sino que también afecta la salud humana. Diversos hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), que pueden estar adheridos a su superficie, han sido clasificados como sustancias mutagénicas o carcinogénicas. Las partículas de hollín, mayormente emitidas por los motores diésel de los vehículos, pueden llevar en su superficie alérgenos como el polen, facilitando su ingreso a los pulmones y aumentando el riesgo de alergias (Matschulat et al., 2006).

En su mayoría, el hollín es generado por los motores diésel, y se lo vincula con las partículas pequeñas de carbón en suspensión que no suelen ser tratadas como un gas ni cuantificadas mediante el analizador de gases (Alfonso, 2018).

Existen dos tipos de partículas sólidas respirables: PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, las primeras hacen referencias a las partículas grandes, que por lo general son de pH básico, resultado de la combustión no controlada, algunas están vinculadas con la desintegración mecánica de la materia o a la suspensión de partículas en el medio. Mientras que las segundas corresponden a partículas que, por lo común, son ácidas, entre las cuales está el hollín, así como otros derivados de las emisiones industriales y vehiculares, caracterizándose como la fracción más agresiva y pequeña a debido a que estas son 100% respirables, y por tanto se pueden alojar en los bronquios, bronquiolos y alveolos (Echeverri & Maya, 2008).

La siguiente tabla muestra las fuentes vinculadas con la emisión de las partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>.

Tabla 3. Fuentes de emisión y relación PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>.

FUENTES DE EMISIÓN	RELACIÓN PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>
Fuentes estacionarias	
Combustión de combustibles	0.96
Procesos industriales	0.56
Fuentes fugitivas	
Calles pavimentadas	0.25
Calles no pavimentadas	0.15
Construcción y demolición	0.15
Operaciones agrícolas (cultivos, etc.)	0.20
Procesos varios	
Quema de desechos	0.96
Quema de residuos agrícolas	0.93-0.96
Incendios forestales	0.93
Fuentes móviles	
En carretera	0.98

Nota: (N. Rojas & Galvis, 2005)

Cabe mencionar que la gran parte de las partículas de hollín son menores a 5  $\mu\text{m}$  y tienen un aspecto racimoso, en otras palabras, estas partículas son 30 veces menores que el diámetro de un cabello humano, posibilitando que su ingreso al sistema respiratorio sea muy rápido y fácil, lo cual significaría graves daños a la salud de quien lo respira. Estas altas concentraciones están asociadas con las horas de mayor circulación vehicular donde se llegan a reportar altos valores (MINAM, 2018).

A continuación, se presentan los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitida para las normas de PTS (Partículas totales en suspensión) y MP10 (Diámetro aerodinámico menor de 10  $\mu\text{m}$ ) en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea. Cabe anotar que Argentina y Ecuador también tienen normas para partículas sedimentables, Brasil y Cuba también poseen normas para el hollín, y Estados Unidos tiene normas para MP<sub>2.5</sub> (diámetro aerodinámico menor de 2,5  $\mu\text{m}$ ).

Tabla 4. Valores límite de PM<sub>10</sub> para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

País	Valor límite (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina <sup>2</sup>			
Belice <sup>2</sup>			
Bolivia	150	24 horas	Ninguna
	50 <sup>3</sup>	1 año	
Brasil <sup>4</sup>	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 <sup>3</sup>	1 año	Ninguna
Chile	150	24 horas	El percentil 98 anual no debe superar el valor límite
Colombia <sup>2</sup>			
Costa Rica	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 <sup>3</sup>	1 año	Ninguna
Cuba <sup>6</sup>			
Ecuador <sup>2</sup>			
México	150	24 horas	Solo una vez por año
	50 <sup>3</sup>	1 año	Ninguna
Venezuela <sup>2</sup>			
Canadá <sup>2</sup>			
China <sup>7</sup>	50 (I), 150 (II), 250 (III)	24 horas	Ninguna
	40 (I), 100 (II), 150 (III) <sup>5</sup>	1 año	
Estados Unidos <sup>8</sup>	150	24 horas	El promedio de tres años consecutivos del percentil 99 anual no debe superar el valor límite
	50 <sup>3</sup>	1 año	El promedio de tres años consecutivos no debe superar el valor límite
Japón	200	1 hora	Ninguna
	100	24 horas	
Unión Europea <sup>9</sup>	50	24 horas	El valor límite no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año
	40 <sup>3</sup>	1 año	El valor límite no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año

Notas: (MINSa, 2010).

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. No tiene normas para PM<sub>10</sub>.
3. Promedio geométrico anual.
4. Brasil también tiene una norma para hollín con un valor límite de 150 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en más de una ocasión por año y un valor límite de 60 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (promedio aritmético anual) que no debe superarse en ninguna ocasión.
5. Promedio aritmético anual.
6. Cuba tiene una norma para hollín con un valor límite de 150 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 20 minutos y un valor límite de 50 mg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en ninguna ocasión.

7. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas; (III) áreas industriales especiales.
8. Estados Unidos también tiene una norma para PM 2,5 con un valor límite de  $65 \text{ mg/m}^3$ , con un tiempo de exposición de 24 horas para la cual el promedio de tres años consecutivos del percentil 98 anual no debe exceder el valor de la norma y un valor límite de  $15 \text{ mg/m}^3$  con un tiempo de exposición de 1 año para el cual el promedio de tres años consecutivos no debe superar el valor de la norma.
9. Valores límites que corresponden a la fase 1 (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 de enero de 2005). La fase 2 tiene un valor límite de  $50 \text{ mg/m}^3$  que no podrá superarse en más de 7 ocasiones por año para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas y un valor límite de  $20 \text{ mg/m}^3$  para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 de enero de 2010).

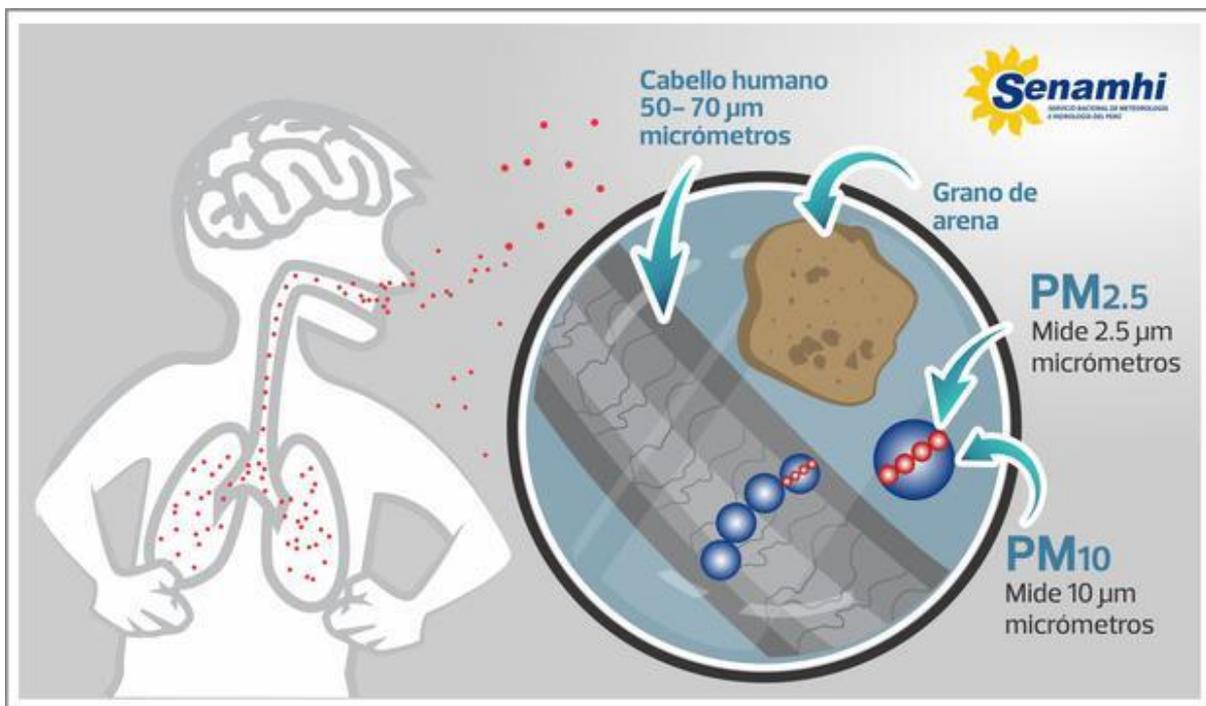


Figura 15. Emisión de partículas de hollín derivadas de la intensa actividad vehicular.

## 2.2. Marco conceptual

- **Rendimiento de combustible**

Es la relación entre los kilómetros recorridos por el bus y la cantidad de combustible consumido (en galones) para recorrer esa cantidad de kilómetros.

- **Disponibilidad**

Es el tiempo que un vehículo se encuentre en la capacidad de cumplir con sus funciones bajo condiciones determinadas en el momento indicado.

- **Hollín**

Es un contaminante ambiental generado por la combustión incompleta dentro del motor, el cual es expulsado por la tubería de los gases de escape de los buses.

- **Mantenimiento preventivo**

Es un programa establecido en base a un conjunto de actividades establecidas en un cronograma, donde se manifiestan las tareas que se deben de realizar con respecto a un equipo.

- **Tiempo medio entre fallas**

Tiempo en el cual la máquina no presenta ningún tipo de desperfecto.

- **Tiempo medio para reparar**

Tiempo exclusivo para la reparación de la máquina.

- **Tiempo promedio entre mantenimientos sucesivos**

Tiempo que existe entre un mantenimiento y el próximo.

## CAPÍTULO III.

### HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.
- La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.
- La implementación del plan de mantenimiento preventivo reduce significativamente los niveles de hollín de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

#### 3.2. Operacionalización de variables

Tabla 5. Operacionalización de las variables

VARIABLE	D.CONCEPTUAL	D.OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
<b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>	Este tipo de mantenimiento procura reducir el número de intervenciones correctivas mediante la aplicación de un sistema donde se ejecute rutinas de inspección y la renovación de elementos en mal estado, siendo un mantenimiento planificado en el tiempo a diferencia del mantenimiento correctivo, impidiendo afectar directamente la productividad y a la calidad del producto o servicio (Cansino & Lucero, 2015).	Esta variable tiene como dimensiones: diagnóstico, planificación, evaluación y control, así como costos. Igualmente, será medido por el diseño experimental.	Diagnóstico	Ficha Técnica de Mantenimiento de la flota de buses
				Historial de Fallas
				Reportes de las ordenes de trabajos de mantenimiento anteriores
				Diagrama Causa – Efecto
			Planificación	Matriz de Criticidad
				Programa de mantenimiento preventivo (Diagrama Gantt)
				Evaluación y control
Costos	Actividades reales			
	Actividades programadas			
				Costos del mantenimiento correctivo
				Costos del mantenimiento preventivo
<b>EFICIENCIA DE LA FLOTA DE BUSES</b>	Una flota de buses se cataloga como eficiente cuando se aminoran al mínimo los costos, se optimizan los procesos y se gestionan el tiempo de forma apropiada. La eficiencia hace referencia al máximo aprovechamiento de los recursos disponibles a cambio de la obtención de un servicio acorde con las exigencias del mercado (Sanz, 2020a).	Esta variable tiene como dimensiones: rendimiento del combustible, disponibilidad y los niveles de hollín. Además, será medido por el diseño experimental.	Rendimiento del combustible	Consumo
			Disponibilidad	Recorrido
				Horas programadas
				Horas de paradas
			Niveles de hollín en el lubricante	Reportes de análisis de aceite

## CAPÍTULO IV.

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación en este trabajo es aplicada. Tal como indica Lozada (2014), La investigación aplicada tiene como meta la producción de conocimiento con una aplicación directa y a corto plazo en la sociedad o en el ámbito productivo. Estos estudios poseen un valor significativo gracias a la incorporación del saber adquirido a través de la investigación fundamental.

Por otro lado, el diseño de la presente investigación es experimental, del tipo preexperimental, de corte longitudinal. Como afirma Hernández (2014), los preexperimentos (experimentos previos) se utilizan para acercarse al fenómeno en estudio al aplicar un tratamiento o estímulo a un grupo de personas, con el fin de generar hipótesis y luego medir una o más variables para observar los efectos. La naturaleza misma del pre-experimento implica que el nivel de control en este tipo de estudios es bastante limitado en comparación con un diseño experimental completo. De igual modo, Salas (2013) enfatiza que su aplicación no va dirigida a la construcción de la teoría, sino al campo de la aplicación de los conocimientos, pero no se niega su carácter experimental.

Aparte, los estudios de corte longitudinal son aquellos que examinan un proceso a lo largo del tiempo, ya sea relacionado con una intervención o no. Los sujetos de observación pueden ser individuos, partes de individuos o preparaciones experimentales, organizaciones e incluso poblaciones. Las observaciones se realizan en múltiples ocasiones, aunque no todas necesariamente se incluyan en el análisis. (Dagnino, 2014).

#### 4.2. Unidad de análisis

La unidad de análisis para esta investigación es la flota de buses de la marca Volvo, modelo B430R (Ver tabla 13 para mayor detalle).



Figura 16. Buses de la flota de la empresa analizada.

Tabla 6. Distribución de la flota total por servicio / marca / modelo / año de inicio de operación.

Servicio (marca-modelo)	AÑO DE INICIO DE OPERACIÓN						TOTAL
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
<b>“Evolution”</b>				52			<b>52</b>
Scania - K460				8			8
Volvo - B430R				44			44
<b>“Plus”</b>	12						<b>12</b>
Scania - K460	10						10
Volvo - B430R	2						2
<b>“Suite”</b>	2	15		22			<b>39</b>
Scania - K460				8			8
Volvo - B430R	2	15		14			31
<b>“Expreso Ica”</b>			11				<b>11</b>
Scania - K410			11				11
<b>“Internacional”</b>					4	7	<b>11</b>
Scania - K460					4	7	11
<b>“Confort”</b>					7		<b>7</b>
Scania - K460					7		7
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>74</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>132</b>

### 4.3. Matriz de consistencia

Tabla 7. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la eficiencia de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b></p> <p><b>X = PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b></p> <p>Dimensiones e Indicadores</p> <p>X.1. Diagnóstico</p> <p>X.1.1. Ficha Técnica de Mantenimiento de la flota de buses</p> <p>X.1.2. Historial de Fallas</p> <p>X.1.3. Reportes de las órdenes de trabajos de mantenimiento anteriores.</p> <p>X.1.4. Diagrama Causa – Efecto</p> <p>X.1.5. Matriz de Criticidad</p> <p>X.2. Planificación</p> <p>X.2.1. Programa de mantenimiento preventivo (Diagrama Gantt)</p> <p>X.3. Evaluación y control</p> <p>X.3.1. Actividades reales</p>	<p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Diseño:</b> Experimental del tipo pre experimental – corte longitudinal</p> <p><b>Población:</b> Estará conformado por los 14 buses de la marca Volvo del servicio “Suite”.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra tendrá el mismo tamaño que la población. Asimismo, se aplicará un muestreo no probabilístico intencional.</p> <p><b>Técnicas de recolección de datos:</b> Observación y análisis documental.</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejorará el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?</p> <p>¿De qué manera la implementación del plan de mantenimiento preventivo mejorará la disponibilidad de una</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejora el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.</p> <p>Determinar de qué manera la implementación de un</p>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.</p> <p>La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la disponibilidad de una</p>		

flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?	plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.	flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.	X.3.2. Actividades programadas	<b>Instrumentos de recolección de datos:</b> Fichas de registros de datos y fichas bibliográficas.
¿De qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo reducirá los niveles de hollín contenido en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial?	Determinar de qué manera la implementación de un plan de mantenimiento preventivo reduce los niveles de hollín contenido en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.	La implementación del plan de mantenimiento preventivo reduce significativamente los niveles de hollín contenido en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.	X.4. Costos X.4.1. Costos del mantenimiento correctivo X.4.2. Costos del mantenimiento preventivo	<b>Técnicas para el procesamiento y análisis de la información</b> Para el procesamiento de datos se utilizará las hojas de cálculo del Microsoft Excel; permitiendo la construcción de tablas y gráficos, facilitando la interpretación de estos. Además, para la contratación de las hipótesis se empleará el método de diseño en sucesión o en línea, también conocido como el método Pre-Test y Post-Test, por medio del software IBM SPSS Statistics.
<b>Variable dependiente</b> <b>Y= EFICIENCIA DE LA FLOTA DE BUSES</b>			<b>Dimensiones e Indicadores</b>	
Y.1. Rendimiento del combustible			Y.1. Rendimiento del combustible	
Y.1.1. Consumo			Y.1.1. Consumo	
Y.1.2. Recorrido			Y.1.2. Recorrido	
Y.2. Disponibilidad			Y.2. Disponibilidad	
Y.2.1. Horas programadas			Y.2.1. Horas programadas	
Y.2.2. Horas de paradas			Y.2.2. Horas de paradas	
Y.3. Niveles de hollín contenido en el aceite lubricante			Y.3. Niveles de hollín contenido en el aceite lubricante	
Y.3.1. Reportes de análisis de aceite			Y.3.1. Reportes de análisis de aceite	

## CAPÍTULO V.

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 5.1. Etapas de la investigación

##### **A. Reporte histórico del rendimiento del combustible, disponibilidad mecánica y los reportes de análisis de aceite**

Se consolidó un registro con información histórica de rendimiento del combustible, disponibilidad mecánica y los reportes de análisis de aceite desde el inicio de operación de la flota de buses para realizar una estadística sobre la influencia de las actividades de mantenimiento con relación a la eficiencia de la flota.

##### **B. Establecer criterios de inclusión**

Se consideró 132 buses de servicio interprovincial para calcular el rendimiento del combustible en el transcurso del año 2018, y clasificarlos por: Servicio, marca, modelo, frecuencia de rutas de destino y año de inicio de operación, para luego seleccionar el grupo de buses con menor rendimiento del combustible con similares características.

##### **C. Determinación de la ruta crítica y tamaño de muestra de investigación**

- Primeramente, se consolidó la información técnica de la flota de 132 buses de transporte interprovincial.
- Luego, se elaboró el reporte de rendimiento (acumulativo) del combustible del año 2018, para lo cual se consideró la siguiente información: Fecha de abastecimiento, ruta, código interno del bus, consumo de combustible (en galones) y kilómetros recorridos.
- Después, se clasificó la flota por el tipo de servicio que realizó; agregando a ello el cálculo del recorrido y consumo mensual de combustible del bus. Cabe resaltar que para ambos casos se desarrolló un cuadro acumulativo de estos parámetros a través del año.

Tabla 8. Recorrido mensual por tipo de servicio, en 2018.

<b>MENSUAL</b>						
<b>MES (2018)</b>	<b>SERVICIO (recorrido en kilómetros)</b>					
	Confort	Evolution	Expreso Ica	Internacional	Plus	Suite
<b>Ene</b>	167.661	1.306.971	223.037	28.200	211.221	691.047
<b>Feb</b>	157.520	1.230.727	201.976	27.960	227.725	633.176
<b>Mar</b>	166.900	1.258.977	219.551	86.040	245.800	669.462
<b>Abr</b>	169.701	1.186.297	204.702	129.248	254.915	611.002
<b>May</b>	173.491	1.275.392	206.505	144.236	241.245	665.498
<b>Jun</b>	166.501	1.116.083	193.903	233.988	231.264	617.403
<b>Jul</b>	175.151	1.255.230	218.469	279.310	241.588	668.328
<b>Ago</b>	187.250	1.307.955	225.456	255.993	257.171	654.769
<b>Set</b>	172.190	1.201.016	212.620	217.012	240.139	646.757
<b>Oct</b>	175.090	1.252.654	215.129	216.248	226.088	641.382
<b>Nov</b>	174.867	1.219.012	215.725	222.197	230.681	612.895
<b>Dic</b>	173.260	1.231.054	218.493	243.107	259.802	681.108

Tabla 9. Recorrido acumulado por tipo de servicio, en 2018.

<b>ACUMULADO</b>						
<b>MES (2018)</b>	<b>SERVICIO (recorrido acumulado en kilómetros)</b>					
	Confort	Evolution	Expreso Ica	Internacional	Plus	Suite
<b>Ene</b>	167.661	1.306.971	223.037	28.200	211.221	691.047
<b>Feb</b>	325.181	2.537.698	425.013	56.160	438.946	1.324.223
<b>Mar</b>	492.081	3.796.675	644.564	142.200	684.746	1.993.685
<b>Abr</b>	661.782	4.982.972	849.266	271.448	939.661	2.604.687
<b>May</b>	835.273	6.258.364	1.055.771	415.684	1.180.906	3.270.185
<b>Jun</b>	1.001.774	7.374.447	1.249.674	649.672	1.412.170	3.887.588
<b>Jul</b>	1.176.925	8.629.677	1.468.143	928.982	1.653.758	4.555.916
<b>Ago</b>	1.364.175	9.937.632	1.693.599	1.184.975	1.910.929	5.210.685
<b>Set</b>	1.536.365	11.138.648	1.906.219	1.401.987	2.151.068	5.857.442
<b>Oct</b>	1.711.455	12.391.302	2.121.348	1.618.235	2.377.156	6.498.824
<b>Nov</b>	1.886.322	13.610.314	2.337.073	1.840.432	2.607.837	7.111.719
<b>Dic</b>	2.059.582	14.841.368	2.555.566	2.083.539	2.867.639	7.792.827

Tabla 10. Consumo mensual de combustible por tipo de servicio, en 2018.

<b>MENSUAL</b>						
<b>MES (2018)</b>	<b>SERVICIO (consumo de combustible, en galones)</b>					
	Confort	Evolution	Expreso Ica	Internacional	Plus	Suite
<b>Ene</b>	13.669	114.907	16.466	2.171	19.163	69.877
<b>Feb</b>	13.028	108.524	15.008	2.158	20.810	63.679
<b>Mar</b>	13.711	110.620	15.932	6.637	22.316	67.626
<b>Abr</b>	13.870	104.236	14.739	10.008	23.209	62.764
<b>May</b>	14.188	110.647	14.404	11.021	21.707	68.028
<b>Jun</b>	13.481	96.698	13.184	17.991	20.511	62.902
<b>Jul</b>	14.261	109.548	15.136	21.413	21.711	68.337
<b>Ago</b>	15.319	114.734	15.751	19.419	23.276	68.441
<b>Set</b>	14.051	105.106	15.010	16.471	21.671	67.356
<b>Oct</b>	14.325	111.264	15.284	16.392	21.054	67.065
<b>Nov</b>	14.534	109.071	15.509	16.814	21.359	64.358
<b>Dic</b>	14.534	111.281	15.869	18.705	23.910	71.349

Tabla 11. Consumo acumulado de combustible por tipo de servicio, en galones, en 2018.

<b>ACUMULADO</b>						
<b>MES (2018)</b>	<b>SERVICIO (consumo acumulado de combustible, en galones)</b>					
	Confort	Evolution	Expreso Ica	Internacional	Plus	Suite
<b>Ene</b>	13.669	114.907	16.466	2.171	19.163	69.877
<b>Feb</b>	26.697	223.431	31.474	4.329	39.973	133.557
<b>Mar</b>	40.408	334.051	47.406	10.967	62.288	201.183
<b>Abr</b>	54.278	438.287	62.145	20.975	85.498	263.946
<b>May</b>	68.466	548.934	76.549	31.996	107.205	331.975
<b>Jun</b>	81.947	645.632	89.732	49.988	127.716	394.877
<b>Jul</b>	96.208	755.180	104.868	71.400	149.427	463.214
<b>Ago</b>	111.526	869.913	120.619	90.820	172.703	531.655
<b>Set</b>	125.577	975.019	135.630	107.291	194.374	599.011
<b>Oct</b>	139.901	1.086.283	150.913	123.683	215.428	666.077
<b>Nov</b>	154.436	1.195.354	166.422	140.498	236.788	730.435
<b>Dic</b>	168.970	1.306.635	182.291	159.202	260.698	801.784

- Con las tablas de valores acumulados de recorrido y consumo de combustible se procedió a elaborar una tabla y hacer una gráfica de los rendimientos “acumulativos” del combustible en el 2018.

En este caso, para calcular el rendimiento acumulativo del combustible hasta el mes “i”, se utilizó la siguiente fórmula:

Rendimiento acumulativo del combustible hasta el mes "i" =

$$\frac{\text{Recorrido acumulado hasta el mes "i"}}{\text{consumo acumulado de combustible hasta el mes "i"}} \text{ [ km/galón] } \quad (6)$$

Tabla 12. Rendimiento acumulativo del combustible por tipo de servicio, en km/galón, en 2018

ACUMULADO						
MES (2018)	SERVICIO (rendimiento acumulativo del combustible en km/galón)					
	Confort	Evolution	Expreso Ica	Internacional	Plus	Suite
Ene	12,266	11,374	13,545	12,988	11,023	9,889
Feb	12,180	11,358	13,504	12,972	10,981	9,915
Mar	12,178	11,366	13,597	12,967	10,993	9,910
Abr	12,193	11,369	13,666	12,942	10,990	9,868
May	12,200	11,401	13,792	12,992	11,015	9,851
Jun	12,225	11,422	13,927	12,997	11,057	9,845
Jul	12,233	11,427	14,000	13,011	11,067	9,835
Ago	12,232	11,424	14,041	13,048	11,065	9,801
Set	12,234	11,424	14,055	13,067	11,067	9,779
Oct	12,233	11,407	14,057	13,084	11,035	9,757
Nov	12,214	11,386	14,043	13,099	11,013	9,736
Dic	12,189	11,358	14,019	13,087	11,000	9,719

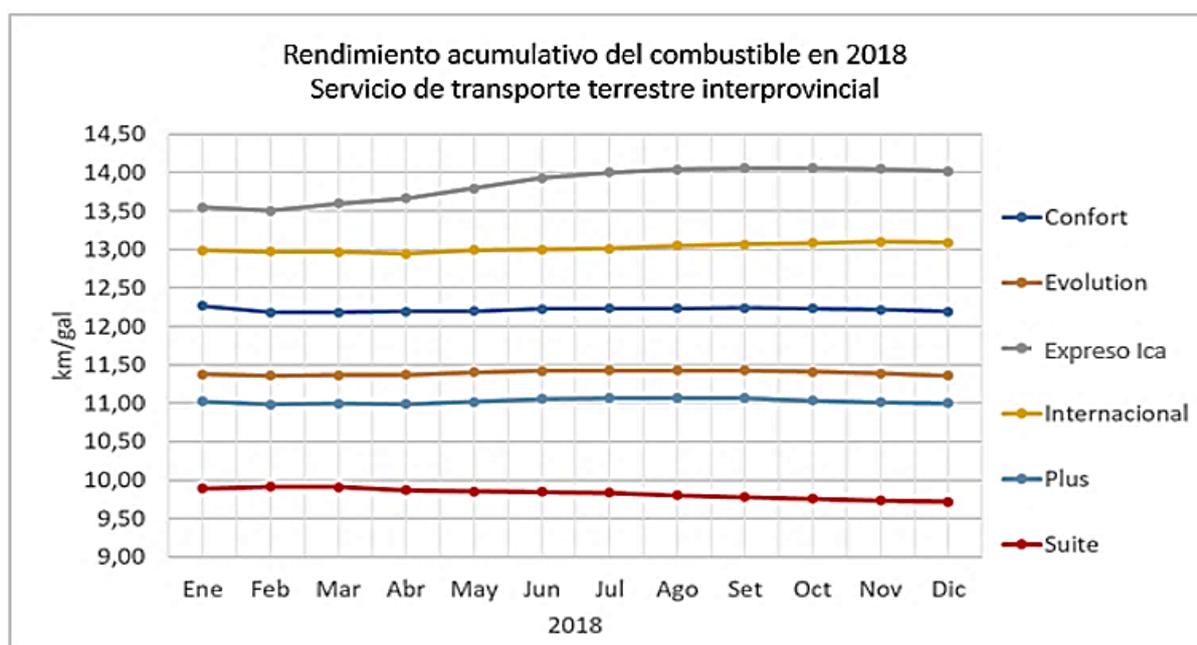


Figura 17. Rendimiento acumulativo del combustible en 2018–servicios de transporte terrestre interprovincial.

Por otra parte, se elaboró en la tabla 13, el reporte de la frecuencia de rutas realizadas a cada destino por cada tipo de servicio en el año 2018.

Tabla 13. Distribución de frecuencia de rutas realizadas por cada tipo de servicio en el año 2018

	SERVICIO
RUTA	Confort
LIMA-PIURA-LIMA	31,48%
LIMA-AREQUIPA-LIMA	31,40%
LIMA-TRUJILLO-LIMA	31,31%
LIMA-CHICLAYO-LIMA	4,08%
LIMA-CAJAMARCA-LIMA	1,56%
LIMA-LOCAL-LIMA	0,17%

	SERVICIO
RUTA	Evolution
LIMA-AREQUIPA-LIMA	14,64%
LIMA-PUNO-LIMA	10,27%
LIMA-CHICLAYO-LIMA	9,49%
LIMA-SULLANA-LIMA	9,07%
LIMA-TRUJILLO-LIMA	8,80%
LIMA-NAZCA-LIMA	7,78%
LIMA-TACNA-LIMA	7,24%
LIMA-TUMBES-LIMA	5,50%
LIMA-CAJAMARCA-LIMA	5,23%
LIMA-TALARA-LIMA	5,18%
LIMA-PIURA-LIMA	5,07%
LIMA-GUAYAQUIL-LIMA	3,73%
LIMA-ILO-LIMA	3,51%
LIMA-MARCONA-LIMA	1,39%
LIMA-AYACUCHO-LIMA	0,65%
LIMA-ANTAMINA-LIMA	0,61%
LIMA-CHIMBOTE-LIMA	0,58%
LIMA-ABANCAY-LIMA	0,46%
LIMA-CUSCO-LIMA	0,26%
LIMA-ICA-LIMA	0,23%
LIMA-LOCAL-LIMA	0,12%
LIMA-HUARAZ-LIMA	0,07%
LIMA-LA MERCED-LIMA	0,06%
LIMA-OXAPAMPA-LIMA	0,04%
LIMA-HUANCAYO-LIMA	0,03%

	<b>SERVICIO</b>
<b>RUTA</b>	<b>Expreso Ica</b>
LIMA-ICA-LIMA	99,90%
LIMA-NAZCA-LIMA	0,07%
LIMA-LOCAL-LIMA	0,02%

	<b>SERVICIO</b>
<b>RUTA</b>	<b>Internacional</b>
LIMA-SANTIAGO-LIMA	58,36%
LIMA-ARGENTINA-LIMA	41,64%

	<b>SERVICIO</b>
<b>RUTA</b>	<b>Plus</b>
LIMA-PUNO-LIMA	39,69%
LIMA-AYACUCHO-LIMA	17,02%
LIMA-CHICLAYO-LIMA	16,51%
LIMA-SULLANA-LIMA	8,13%
LIMA-NAZCA-LIMA	5,65%
LIMA-PIURA-LIMA	4,36%
LIMA-AREQUIPA-LIMA	1,88%
LIMA-QUITO-LIMA	1,63%
LIMA-OXAPAMPA-LIMA	0,86%
LIMA-ICA-LIMA	0,77%
LIMA-TRUJILLO-LIMA	0,77%
LIMA-TACNA-LIMA	0,60%
LIMA-TUMBES-LIMA	0,60%
LIMA-ANTAMINA-LIMA	0,43%
LIMA-CUSCO-LIMA	0,34%
LIMA-TALARA-LIMA	0,26%
LIMA-LOCAL-LIMA	0,17%
LIMA-ILO-LIMA	0,17%
LIMA-CAJAMARCA-LIMA	0,09%
LIMA-MARCONA-LIMA	0,09%

	<b>SERVICIO</b>
<b>RUTA</b>	<b>Suite</b>
LIMA-HUANCAYO-LIMA	30,45%
LIMA-HUARAZ-LIMA	14,85%
LIMA-TRUJILLO-LIMA	9,26%
LIMA-ABANCAY-LIMA	7,48%
LIMA-OXAPAMPA-LIMA	4,14%
LIMA-PTO. MALDONADO-LIMA	4,12%
LIMA-AYACUCHO-LIMA	4,06%

LIMA-CHICLAYO-LIMA	4,06%
LIMA-TACNA-LIMA	4,03%
LIMA-ICA-LIMA	4,00%
LIMA-AREQUIPA-LIMA	3,82%
LIMA-NAZCA-LIMA	3,75%
LIMA-LA MERCED-LIMA	2,79%
LIMA-TRUJILLO-LIMA-DIURNO	1,50%
LIMA-TUMBES-LIMA	0,95%
LIMA-LOCAL-LIMA	0,23%
LIMA-SULLANA-LIMA	0,16%
LIMA-ANTAMINA-LIMA	0,10%
LIMA-PIURA-LIMA	0,08%
LIMA-CUSCO-LIMA	0,05%
LIMA-PUNO-LIMA	0,03%
LIMA-MANCORA-LIMA	0,03%
LIMA-ILO-LIMA	0,02%
LIMA-CAJAMARCA-LIMA	0,02%
LIMA-MARCONA-LIMA	0,02%
LIMA-CHIMBOTE-LIMA	0,02%

- A partir de ello, se comparó los rendimientos acumulativos entre los tipos de servicio en el 2018, identificando que el servicio “Suite” presentó el menor rendimiento, con un valor promedio de 9,719 km/gal; y, al contrastar con el reporte de frecuencia de rutas, se identificó que más de un 45% de las rutas realizadas en ese año fue a Huancayo (30,45%, a 3.259 m s. n. m.) y Huaraz (14,85%, a 3.052 m s. n. m.); siendo éstas las rutas de mayores condiciones de criticidad por cuestión climática y altura. Por lo cual, se seleccionó el servicio “Suite” para poder seleccionar el grupo de buses, dentro de este servicio, con características similares.
- Se clasificó en la tabla 14, dentro del servicio seleccionado, los buses por: Marca, modelo, año de inicio de operación; posterior a esto, en la tabla 15 se seleccionó el grupo de 14 buses Volvo – B430R (9,728 km/gal), ya que éstos con relación a los buses Scania K460 (9,686 km/gal), tienen un rendimiento aproximadamente igual, por lo que se consideró la mayor cantidad de buses para poder así realizar el estudio con la flota más nueva.

Tabla 14. Distribución de la flota del servicio Suite por marca / modelo / año de inicio de operación.

Servicio (marca-modelo)	AÑO DE INICIO DE OPERACIÓN						TOTAL
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
<b>“Suite”</b>	2	15		22			<b>39</b>
Scania - K460				8			8
Volvo - B430R	2	15		14			31

Tabla 15. Reporte del rendimiento acumulativo del combustible en 2018, en km/gal.

Servicio “Suite” (Marca y modelo del bus)	Rendimiento acumulativo en 2018 (km/gal)
<b>Scania – K460</b>	
2016	9,686
<b>Volvo – B430R</b>	
2013	9,752
2014	9,724
2016	9,728

Tabla 16. Códigos de las unidades Volvo – B430R (año de inicio de operación 2016) del servicio “Suite” seleccionadas para realizar el estudio de mejora de la eficiencia de la flota.

N°	CÓDIGO DE LA UNIDAD
1	SUITE-16
2	SUITE-17
3	SUITE-18
4	SUITE-19
5	SUITE-20
6	SUITE-21
7	SUITE-22
8	SUITE-23
9	SUITE-24
10	SUITE-25
11	SUITE-26
12	SUITE-27
13	SUITE-36
14	SUITE-37

#### **D. Seleccionar y cuantificar los parámetros de mayor relevancia del reporte histórico elaborado (pre-test).**

Dentro del reporte histórico elaborado y definido del tamaño muestral, se analizó estadísticamente los parámetros de mayor relevancia (dimensiones detalladas en la tabla 5), que influyen en la eficiencia de la flota y que, posteriormente, se cuantificó.

#### **E. Elaborar y ejecutar un plan de mantenimiento preventivo.**

Se identificó las actividades preventivas y correctivas que influyen positivamente en la eficiencia de la flota al analizar la estadística correspondiente.

Teniendo los anteriores puntos ya definidos, se procedió a elaborar un plan de mantenimiento preventivo óptimo para mejorar la eficiencia de la flota seleccionada y se comenzó a ejecutar éste de acuerdo con el cronograma.

#### **F. Cuantificar los parámetros de mayor relevancia del reporte histórico elaborado (post-test).**

Se cuantificó las dimensiones (rendimiento de consumo de combustible, disponibilidad mecánica y niveles de hollín en el aceite lubricante) seleccionadas posterior a la implementación del plan de mantenimiento preventivo.

#### **G. Realizar el análisis estadístico y económico.**

Se realizó el análisis estadístico y económico para validar la viabilidad del plan de mantenimiento preventivo implementado y la mejora en la eficiencia de la flota.

### **5.2. Diagnóstico de la realidad actual de la empresa**

#### **Descripción de la empresa**

La empresa propietaria de las unidades de transporte en estudio es una empresa peruana sólida, con más de 60 años de experiencia en el mercado del transporte terrestre interprovincial de pasajeros, con diversos destinos a nivel nacional, brindando servicios de calidad, tales como "Evolution", "Plus", "Suite", "Expreso Ica", "Internacional", "Confort"; con una flota de más de 130 buses entre sus diferentes servicios. Cuenta con dos talleres a nivel nacional: el principal en Lima y el otro en Arequipa; así mismo, tiene aliados estratégicos para el soporte

técnico y logístico que le permite poder posicionarse entre las mejores empresas en su rubro en el país.

### Misión

Tener una clara vocación de servicios, cumpliendo los más altos estándares de calidad en seguridad, puntualidad y comodidad.

### Organigrama

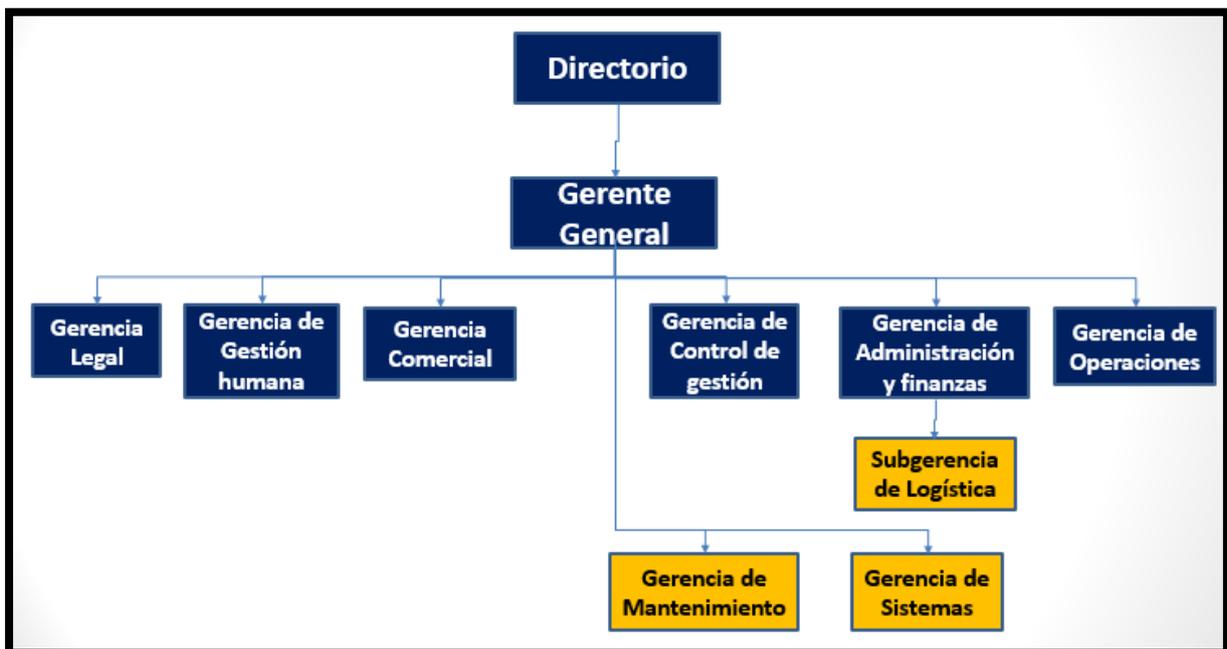


Figura 18. Organigrama de la empresa.

### 5.3. Diagnóstico del problema

La empresa de transporte interprovincial en estudio no tiene un óptimo plan de mantenimiento preventivo, lo cual no satisface el funcionamiento correcto de los 14 buses interprovinciales seleccionados (ver tabla 17), esto genera paradas no programadas durante la prestación del servicio “Suite”, significando pérdidas económicas para la empresa, así como la insatisfacción de los propios clientes por no llegar a su lugar de destino en el tiempo planeado.

Esta situación se debe a que la empresa utiliza, en mayor proporción, mantenimiento correctivo; es decir, espera que una falla ocurra para repararla. A causa de esto, se incrementa el costo de mantenimiento y aumentan los tiempos improductivos.

Bajo este contexto, esta investigación permitirá la implementación de un plan de mantenimiento preventivo (PMP) para mejorar la disponibilidad mecánica, el rendimiento del combustible, así como la reducción de la emisión de hollín de los buses. De esta manera, se protegerán los activos clave de la compañía, se reducirán los costos de mantenimiento y aumentará el rendimiento de cada bus. Finalmente, esta gestión mejorará las condiciones de seguridad para los trabajadores, como también incrementará la calidad de la operación, asegurando mayores utilidades para la empresa y le permitirá reducir su huella de carbono, a través de la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y otros gases tóxicos al reducirse las tasas de consumo de combustible.

Tabla 17. Códigos de las unidades Volvo – B430R del servicio “Suite” seleccionadas para realizar el estudio de mejora de la eficiencia de la flota.

N°	CÓDIGO DE LA UNIDAD
1	SUITE-16
2	SUITE-17
3	SUITE-18
4	SUITE-19
5	SUITE-20
6	SUITE-21
7	SUITE-22
8	SUITE-23
9	SUITE-24
10	SUITE-25
11	SUITE-26
12	SUITE-27
13	SUITE-36
14	SUITE-37

#### 5.4. Datos técnicos de los buses de la flota de la empresa

Tabla 18. Ficha técnica de los buses en estudio.

<b>SERVICIO "SUITE"</b>		
<b>CHASIS</b>	<b>MARCA</b>	<b>VOLVO</b>
	<b>MODELO</b>	<b>B430R</b>
	<b>CONFIGURACIÓN</b>	6 x 2
	<b>DIMENSIONES (mm)</b>	10.570 x 2.476
	<b>CAPACIDAD TOTAL DE EJES (kg)</b>	24.750
<b>MOTOR</b>	<b>MODELO MOTOR</b>	D11A430
	<b>TIPO MOTOR</b>	Diésel turboalimentado de cuatro tiempos
	<b>POTENCIA (HP)</b>	430
	<b>TORQUE(N.m)</b>	2.000 / 1.500 RPM

	CILINDRADA (L)	10,8
	NIVEL DE EMISIONES	EURO III
SIST. DIRECCIÓN	MODELO	ZF8098
	TIPO	Hidráulica integral
SIST.SUSPENSIÓN	TIPO SUSPENSIÓN	Amortiguadores de doble acción / barras estabilizadoras y de reacción
	CARGA EJE DELANTERA (kg)	7.500
	CARGA DE EJE DE TRACCIÓN (kg)	12.000
	CARGA DE 3° EJE (kg)	5.250
SIST.TRASMISION	MODELO DE CAJA	AT2612D
	ACCIONAMIENTO	Automática
	MARCHAS	12
	RELACIÓN 1°MARCHA	14,94: 1
SIST.FRENOS	TIPO	Disco de frenos / ABS / ASR / retardador
NEUMÁTICO	MEDIDA	315 / 80R22,5

## 5.5. Indicadores del mantenimiento antes de la implementación

### Rendimiento del combustible

El tiempo de recolección de datos, previo a la implementación del plan de mantenimiento preventivo (Pre – Test), duro 1 año, es decir, empezó en enero y finalizó en diciembre de 2018.

Tabla 19. Rendimiento acumulativo y promedio del combustible de la flota de buses – Antes de la implementación del plan de mantenimiento preventivo

			RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE (km/gal)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
PRE	Ene	2018	9,96	10,28	9,63	9,82	9,43	9,88	10,43	9,57	9,97	9,70	10,02	9,94	10,47	9,58
PRE	Feb	2018	9,88	10,18	9,40	9,54	9,80	10,14	10,28	10,17	10,39	9,83	9,66	9,95	9,69	10,11
PRE	Mar	2018	10,38	9,84	9,65	9,59	9,49	10,07	10,15	9,30	9,66	9,79	10,00	9,54	10,36	9,87
PRE	Abr	2018	10,05	10,11	9,46	9,73	9,46	9,96	10,39	8,82	9,32	9,19	9,16	9,73	9,91	10,39
PRE	May	2018	10,17	9,41	9,54	9,59	10,01	10,13	10,10	10,02	9,92	9,36	10,12	9,81	9,97	9,67
PRE	Jun	2018	10,03	10,18	9,87	9,71	9,53	9,27	10,84	9,53	10,16	9,40	9,31	10,00	9,84	10,22
PRE	Jul	2018	9,91	10,33	9,45	9,29	9,77	9,84	9,67	10,05	9,94	9,12	9,36	9,70	10,17	10,01
PRE	Ago	2018	9,86	9,18	9,51	9,57	9,73	9,69	10,10	9,63	9,45	9,81	8,95	9,40	9,70	9,21
PRE	Set	2018	9,32	9,49	9,49	9,88	9,88	9,65	9,76	9,48	9,85	9,22	9,92	9,50	9,97	9,79
PRE	Oct	2018	9,82	9,74	9,32	9,53	9,56	9,59	10,03	9,82	9,47	9,31	9,60	10,00	9,87	9,72
PRE	Nov	2018	9,64	9,88	9,60	9,30	9,37	9,19	9,74	9,64	9,64	8,78	8,84	9,28	9,97	9,39
PRE	Dic	2018	9,22	9,55	8,99	9,46	9,34	9,66	9,99	9,62	10,06	9,37	9,71	9,60	9,93	9,81
<b>Promedio</b>			9,85	9,85	9,49	9,58	9,61	9,76	10,12	9,64	9,82	9,41	9,55	9,70	9,99	9,81

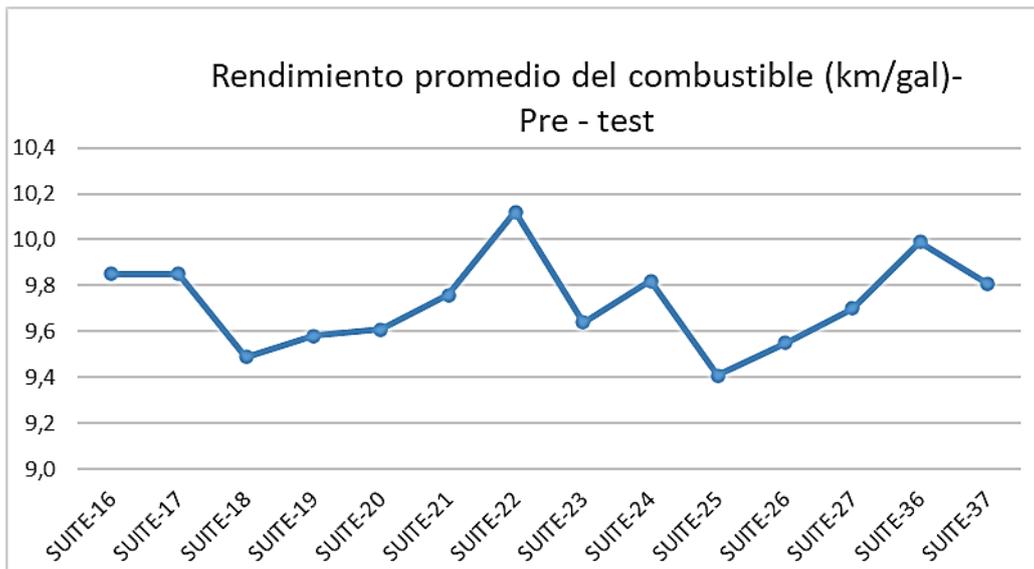


Figura 19. Rendimiento promedio del combustible (km/gal) - antes de la implementación.

Como se aprecia en la figura 19, el rendimiento promedio del combustible de los 14 buses varía entre 9,41 y 10,12 km/gal, siendo este indicador muy bajo en relación con los demás servicios. En ese sentido, la eficiencia de los buses es determinante en la toma de decisiones para la adquisición, sustitución de otros buses, así como para la elaboración de presupuestos.

### Disponibilidad mecánica

El tiempo de recolección de datos para el Pre - Test duró 1 año, es decir, empezó en enero y finalizó en diciembre de 2018.

En esta ocasión, para calcular la disponibilidad, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 & \text{Disponibilidad mecánica (1ª forma)} = \\
 & \frac{\text{Nº de horas en operación}}{\text{Nº de horas en operación} + \text{Nº de horas en mantenimiento}} \quad [\%] \quad (4)
 \end{aligned}$$

Tabla 20. Horas disponibles fuera de mantenimiento – Antes de la implementación.

			HORAS DISPONIBLES FUERA DE MANTENIMIENTO													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
PRE	Ene	2018	435	581	729	726	725	727	417	539	732	481	724	726	561	730
PRE	Feb	2018	644	482	648	659	658	490	440	519	654	661	653	321	513	655
PRE	Mar	2018	733	731	729	719	585	730	725	560	731	584	563	725	721	552
PRE	Abr	2018	678	699	700	692	705	694	707	702	702	700	702	699	703	709
PRE	May	2018	724	482	730	728	508	726	720	322	715	486	515	720	719	729
PRE	Jun	2018	462	384	700	202	701	713	704	701	249	696	698	704	701	696
PRE	Jul	2018	289	248	728	483	726	513	726	731	730	728	484	725	463	721
PRE	Ago	2018	730	725	719	730	729	732	726	729	725	719	728	726	724	724
PRE	Set	2018	706	705	692	701	704	704	702	412	701	698	708	703	701	700
PRE	Oct	2018	726	732	725	729	440	485	730	727	722	727	720	730	725	732
PRE	Nov	2018	707	704	705	702	700	704	700	710	691	695	702	701	707	709
PRE	Dic	2018	715	728	725	417	731	718	729	724	731	723	726	727	727	154



Tabla 22. Disponibilidad mecánica – Antes de la implementación.

			DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
PRE	Ene	2018	58,5	78,1	98,0	97,6	97,4	97,6	56,0	72,4	98,4	64,7	97,3	97,5	75,4	98,1
PRE	Feb	2018	95,8	71,7	96,4	98,1	97,9	72,9	65,5	77,2	97,3	98,3	97,1	47,8	76,3	97,5
PRE	Mar	2018	98,5	98,2	98,0	96,6	78,6	98,1	97,4	75,3	98,3	78,5	75,7	97,4	96,9	74,2
PRE	Abr	2018	94,2	97,1	97,2	96,1	97,9	96,4	98,2	97,5	97,5	97,2	97,5	97,1	97,6	98,5
PRE	May	2018	97,3	64,8	98,1	97,8	68,3	97,6	96,8	43,3	96,0	65,3	69,2	96,8	96,6	97,9
PRE	Jun	2018	64,2	53,3	97,2	28,0	97,4	99,0	97,7	97,4	34,6	96,7	96,9	97,7	97,3	96,7
PRE	Jul	2018	38,8	33,3	97,8	64,9	97,6	68,9	97,6	98,3	98,1	97,8	65,1	97,4	62,2	96,9
PRE	Ago	2018	98,1	97,4	96,6	98,1	97,9	98,4	97,6	98,0	97,4	96,6	97,8	97,6	97,3	97,3
PRE	Set	2018	98,0	97,8	96,1	97,4	97,8	97,8	97,5	57,2	97,4	96,9	98,3	97,6	97,4	97,2
PRE	Oct	2018	97,6	98,4	97,4	98,0	59,1	65,2	98,1	97,7	97,0	97,7	96,8	98,1	97,4	98,4
PRE	Nov	2018	98,2	97,8	97,8	97,5	97,2	97,8	97,2	98,6	95,9	96,5	97,5	97,4	98,2	98,4
PRE	Dic	2018	96,1	97,8	97,4	56,0	98,3	96,5	98,0	97,3	98,3	97,2	97,6	97,6	97,6	20,7
<b>Promedio</b>			86,3	82,2	97,4	85,5	90,4	90,5	91,5	84,2	92,2	90,3	90,6	93,3	90,9	89,3

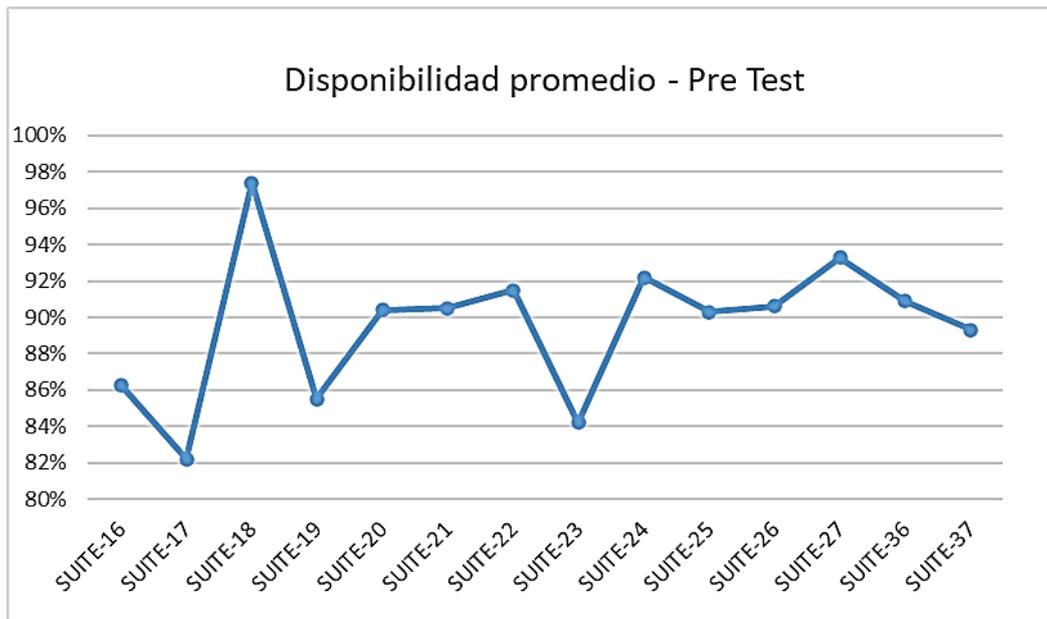


Figura 20. Disponibilidad mecánica promedio (%) - Antes de la implementación.

Como se aprecia en la figura, la disponibilidad mecánica promedio de los 14 buses varía entre 82,15% y 97,35%, lo cual significa paradas no planificadas de buses, afectando la operación y provocando el aumento de los costos de mantenimiento.

#### **Niveles de hollín en el lubricante**

El tiempo de recolección de datos para el Pre - Test duró 1 año, es decir, empezó en enero y finalizó en diciembre de 2018.

Tabla 23. Concentración de hollín en el lubricante– Antes de la implementación.

			CONCENTRACIÓN DE HOLLÍN (% en masa en el aceite)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
PRE	Ene	2018	1,97	2,2	1,7	2,48	2,09	2,96	-	1,91	-	2,48	2,55	2,33	-	-
PRE	Feb	2018	-	-	1,74	-	-	2,7	2,5	-	2,27	2,57	2,64	2,41	1,79	2,41
PRE	Mar	2018	1,94	2,25	-	2,41	1,98	-	2,29	2	-	2,41	-	-	1,87	2,55
PRE	Abr	2018	1,98	-	1,62	2,25	1,94	2,76	-	2,1	2,46	-	2,46	2,27	1,99	-
PRE	May	2018	-	2,41	1,51	-	-	2,62	2,18	-	2,39	2,57	-	2,53	-	2,38
PRE	Jun	2018	1,9	2,41	-	2,62	1,95	-	2,43	1,97	2,7	2,37	2,41	2,52	2,13	2,57
PRE	Jul	2018	1,88	-	1,62	2,41	2,16	2,85	-	-	-	-	2,37	-	2,23	2,33
PRE	Ago	2018	-	2,32	-	-	2,11	-	2,21	-	2,76	2,83	2,76	2,5	-	-
PRE	Set	2018	1,96	2,27	1,55	2,81	-	2,9	2,6	1,96	-	2,5	-	2,34	2,09	2,43
PRE	Oct	2018	2,2	-	1,62	-	2,5	2,95	-	2	2,83	-	2,53	-	2,16	-
PRE	Nov	2018	-	2,42	1,76	2,78	2,38	-	2,5	-	2,88	2,62	2,58	2,68	-	2,64
PRE	Dic	2018	2,32	-	-	-	-	3,02	-	2,18	-	2,99	2,7	2,77	2,32	-
<b>Promedio</b>			2,02	2,33	1,64	2,54	2,14	2,85	2,39	2,02	2,61	2,59	2,56	2,48	2,07	2,47

Nota: En los meses que no figura un valor, es porque no le correspondió cambio de aceite; en consecuencia, no se tomó la muestra para obtener el reporte de análisis de aceite.

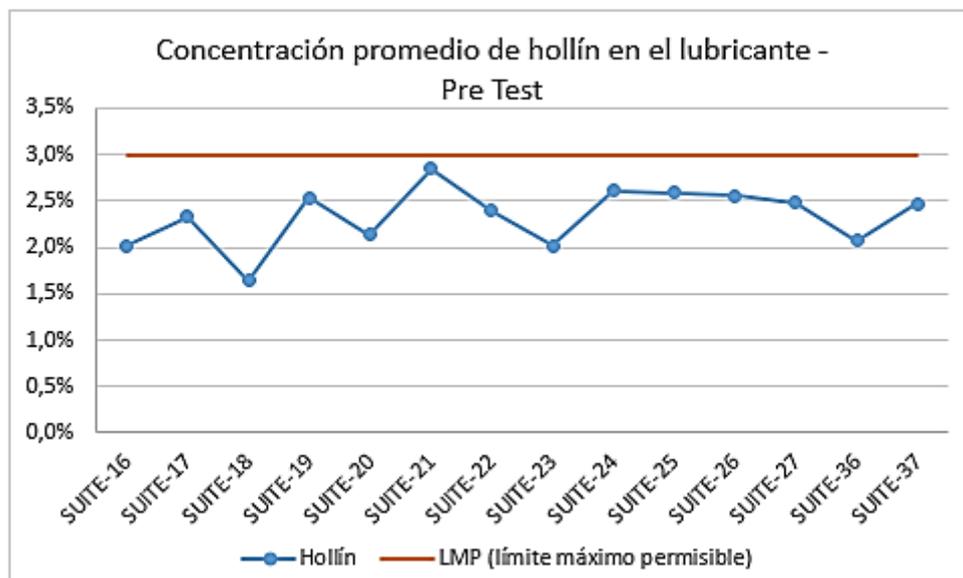


Figura 21. Concentración promedio de hollín en el lubricante – Antes de la implementación.

Como se observa en la figura, la concentración promedio de hollín en el lubricante en los 14 buses varía entre 1,64% y 2,85% en masa en el aceite, siendo este último dato perteneciente a la unidad con código “SUITE-21”, muy próximo al límite máximo permisible (LMP) establecido por el mismo representante de la marca (LMP = 3% en masa en aceite). Cabe resaltar que estos valores cumplen con esta medida de concentración, sin embargo, existe una tendencia de crecimiento al no haber mucho control y seguimiento a estos registros de hollín. Este contaminante presenta un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras ( $PM_{2.5}$ ) y un aspecto racimoso, estas características le permitiría ingresar al sistema respiratorio de forma rápida y generar daños a la salud de las personas si el hollín estuviese en los gases de escape de los motores de los buses.

## 5.6. Implementación de mejoras en la gestión de mantenimiento.

Para poder definir los puntos de mejora en la gestión de mantenimiento que permita lograr mejoras en la eficiencia de la flota, se inició con una evaluación de los diversos factores que están relacionados a una correcta operación del área de mantenimiento, lo cual se detalla a continuación, con los puntajes asignados por el jefe de mantenimiento que representan (con cierto grado de

subjetividad) su nivel (de 0 a 100%) y, con ello, identificar los puntos de mejora para el plan de mantenimiento preventivo.

Tabla 24. Evaluación de factores que influyen sobre la gestión de mantenimiento de la flota de buses.

<b>FACTOR 1: ORGANIZACIÓN</b>										
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Claridad de las políticas de la empresa respecto al área de mantenimiento.			X							
Claridad de los objetivos de la empresa respecto al área de mantenimiento.			X							
Grado de comunicación de todas las áreas de la empresa con respecto al área de mantenimiento.				X						
El área de mantenimiento tiene libertad de acción dentro de la organización de la empresa.				X						
Claridad de la estructura orgánica de la empresa y en especial del área de mantenimiento.				X						
Internamente, el área de mantenimiento tiene establecidas vías de comunicación claras.				X						
El área de mantenimiento trabaja dentro de límites de responsabilidad claros y definidos.				X						
El área de mantenimiento trabaja basada en claros objetivos propios.			X							
El área de mantenimiento es tenida en cuenta por el resto de las áreas de la empresa.				X						
El área de mantenimiento tiene definidas sus funciones claramente.		X								
<b><u>Puntaje</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>9</u></b>	<b><u>24</u></b>	<b><u>42</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>
<b>TOTAL:</b>							<b>75</b>	<b>%</b>		

<b>FACTOR 2: ADMINISTRACIÓN</b>										
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
El área de mantenimiento trabaja basada en un presupuesto operativo anual que cubre todas sus actividades.		X								
El área de mantenimiento trabaja dentro de un sistema de control de costos.			X							
El área de mantenimiento trata de reducir constantemente los costos operativos.		X								
El área de mantenimiento participa en la elaboración de los presupuestos anuales y en el establecimiento de niveles de gastos.			X							
El área de mantenimiento controla y trata de reducir sus gastos.			X							
El área de administración presta apoyo al área de mantenimiento.					X					

El área de sistemas presta apoyo al área de mantenimiento.					X					
La información llega al área de mantenimiento en tiempo y forma.					X					
El área de mantenimiento participa en cuanto a los planes de mercadeo.				X						
Grado de ordenamiento interno del área de mantenimiento en cuanto a lo administrativo.				X						
<b><u>Puntaje</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>24</u></b>	<b><u>14</u></b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>
<b>TOTAL:</b>						<b>74</b>	<b>%</b>			

<b>FACTOR 3: PERSONAL</b>										
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
El área de mantenimiento tiene personal en cantidad suficiente.					X					
El área de mantenimiento tiene personal de calidad técnica.				X						
El personal de mantenimiento conoce y observa los objetivos de la empresa y los particulares del área.				X						
El personal del área de mantenimiento se capacita permanentemente.						X				
El personal del área de mantenimiento trabaja solo y es responsable de las tareas que realiza.					X					
Rotación de personal (ingresos / egresos) del área de mantenimiento.					X					
Ausentismo del personal del área de mantenimiento.				X						
Facilidad del área de mantenimiento para cubrir vacantes.				X						
Las acciones de desarrollo del personal del área de mantenimiento permiten ascensos e integración de cuadros de supervisión.							X			
Frecuencia (alta / baja de aplicación de sanciones.				X						
<b><u>Puntaje</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>35</u></b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>5</u></b>	<b><u>4</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>
<b>TOTAL:</b>						<b>62</b>	<b>%</b>			

<b>FACTOR 4: PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DEL MANTENIMIENTO</b>										
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
El área de mantenimiento acciona en base a planes y programas.				X						
El área de mantenimiento participa en la elaboración de los programas del área de operaciones.						X				

El área de mantenimiento participa en planes de inversión, ampliaciones y modernización de activos productivos.					X															
Grado de aplicación del concepto de mantenimiento preventivo, con rutinas de inspección y revisión planeadas.					X															
El área de mantenimiento tiene archivos de documentación técnica e historial de los equipos al día.										X										
El área de mantenimiento dispone de repuestos, suministros generales y existencia en los almacenes.					X															
El área de mantenimiento dispone de herramientas de banco, equipos y máquinas suficientes y en buen estado.					X															
Se lubrican equipos e instalaciones en base a un programa establecido en base a rutinas.					X															
El área de mantenimiento presta atención, estudia y resuelve los casos de fallas repetitivas.										X										
El área de mantenimiento dispone con suficientes datos sobre costos y presupuestos, contabilidad apoya en esta gestión.					X															
<b><u>Puntaje</u></b>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>28</u>	<u>18</u>	<u>15</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<b>TOTAL:</b>										<b>61</b>	<b>%</b>									

<b>FACTOR 5: SUPERVISIÓN</b>											
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
Conocimientos de sus obligaciones técnicas, funciones de control y responsabilidad sobre los resultados.			X								
Respaldo a la supervisión: supervisión recibe constantemente capacitación.						X					
La supervisión elabora los planes y programas de acciones del área de mantenimiento y controla su grado de cumplimiento.						X					
La supervisión conoce, cumple y hace cumplir los objetivos y principios.					X						
La supervisión maneja y aplica el concepto de economía y control de costos de mantenimiento.						X					
La supervisión sabe escuchar a su personal.			X								
La supervisión analiza y resuelve problemas por sí misma.					X						
La supervisión tiene fluida relación con el nivel de operarios.			X								
La supervisión tiene fluida relación con los niveles superiores de la empresa.				X							
Grado de relación entre supervisores del área de mantenimiento con los de otras áreas de la empresa.				X							
<b><u>Puntaje</u></b>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>24</u>	<u>14</u>	<u>12</u>	<u>15</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	
<b>TOTAL:</b>										<b>65</b>	<b>%</b>

<b>FACTOR 6: ABASTECIMIENTOS</b>										
ASPECTOS A CONSIDERAR	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Velocidad de respuesta a los requerimientos de compras de repuestos, materiales y suministros para el área de mantenimiento.					X					
Almacenes de repuestos ordenados.					X					
Mecanismos de recepción (calidad y cantidad) establecidos.				X						
Se compra en base a especificaciones precisas.				X						
Catálogo de componentes (repuestos) actualizado.						X				
Disponibilidad de repuestos, materiales y suministros.				X						
El área de mantenimiento tiene participación en el proceso de compra.			X							
Registro de proveedores actualizado.						X				
Se respetan los niveles máximos / mínimo de existencias.					X					
Grado de facilidad para contratar servicios de terceros.			X							
<b><u>Puntaje</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>16</u></b>	<b><u>21</u></b>	<b><u>18</u></b>	<b><u>10</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>	<b><u>0</u></b>
<b>TOTAL:</b>							<b>65</b>	<b>%</b>		

Nota: (Paredes, 2019).

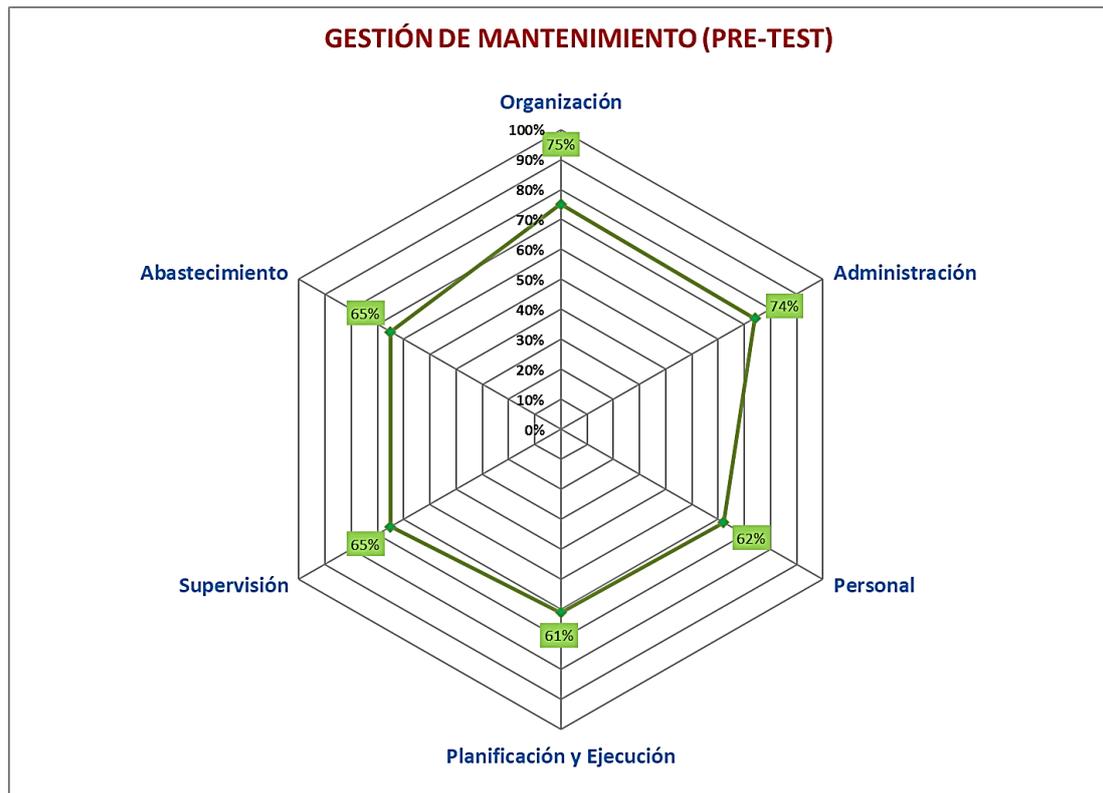


Figura 22. Resumen de la evaluación de los factores de la gestión de mantenimiento en el pre-test.

Teniendo como referencia la necesidad de mejora de cada factor en la gestión de mantenimiento, se procedió a definir un plan de mantenimiento preventivo que permita mejorar la eficiencia de la flota de buses.

#### 5.6.1. Diagrama de Gantt de implementación de mejoras para la gestión de mantenimiento.

Se consideró un período de 2 meses (enero 2019 y febrero 2019) para poder realizar la implementación del plan de mantenimiento preventivo para la mejora en la eficiencia de la flota. A continuación, se muestra la distribución de actividades en un diagrama de Gantt.

Tabla 25. Diagrama de Gantt para la implementación del plan de mantenimiento preventivo para la flota de buses.

DIAGRAMA DE GANTT - IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO										
N°	ACTIVIDADES POR SEMANA	Ene-19					Feb-19			
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
<b>FACTOR 1 : ORGANIZACIÓN</b>										
1	Elaborar con el área de operaciones, seguridad y logística un plan de mantenimiento mensual de los procesos críticos.	■								
2	Elaborar programa de auditoría de acuerdo a lo perfiles del puesto de cada trabajador.		■							
3	Elaborar un programa de encuesta de satisfacción realizada por el área de operaciones a mantenimiento.			■						
<b>FACTOR 2: ADMINISTRACIÓN</b>										
1	Evaluar los costos operativos del año anterior, proyectar ajustes mensuales y validar mensualmente el cumplimiento.	■	■	■						
2	Realizar análisis sobre el beneficio que se obtendría por la reducción de gastos no planificados.				■	■				
3	Revisar y actualizar los procedimientos, así mismo, los trámites administrativos para obtener una respuesta óptima y que permita mejorar el flujo de atención por parte del área de logística.						■	■		
<b>FACTOR 3: PERSONAL</b>										
1	Elaborar el reporte de horas extras mensuales de los últimos 12 meses y redimensionar la cantidad de personal.	■								
2	Elaborar un cronograma de capacitación anual tanto en habilidades blandas como técnicas.		■							
3	Estructurar un modelo de medición de eficiencia del personal.			■						
4	Estructurar un modelo de evaluación de desempeño trimestral.				■					
5	Elaborar un plan de reconocimiento del personal y grupos con mayor eficiencia del mes.					■				
<b>FACTOR 4: PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO</b>										
1	Identificar las actividades de mantenimiento programado de acuerdo a los tipos de mantenimiento por frecuencia que pueden reagruparse.	■	■	■	■					
2	Evaluar los factores críticos de eficiencia de la flota.	■	■							
3	Identificar las actividades preventivas para un óptimo control de los factores críticos de la eficiencia de la flota.			■	■	■	■			
4	Elaborar el plan de mantenimiento preventivo óptimo.							■		
5	Capacitar al personal del área de mantenimiento con el nuevo plan de mantenimiento preventivo.								■	■
<b>FACTOR 5: SUPERVISIÓN</b>										
1	Difundir a la supervisión los objetivos de operación de la empresa y mostrar indicadores.								■	
2	Elaborar un plan de desarrollo y capacitación en base a las habilidades.									■
<b>FACTOR 6: ABASTECIMIENTO</b>										
1	Implementar la metodología 5S en el todo el taller, empezando con el almacén de mantenimiento.	■	■	■						
2	Implementar un procedimiento de solicitud de pedidos de repuestos.			■	■					
3	Establecer la lista de stocks máximos y mínimos de repuestos.					■	■			

### 5.6.2. Variable independiente: Implementación del plan de mantenimiento preventivo.

A continuación, se detalla los factores a considerar dentro del plan de mantenimiento preventivo propuesto para la mejora de la eficiencia de la flota de buses.

#### 5.6.2.1. Mantenimiento programado

Se consideró reducir los grupos de actividades de mantenimiento de 6 a 4 tipos; ya que se identificó actividades que se podían realizar en paralelo entre los grupos de actividades y, de esa forma, poder tener un mayor control sobre la ejecución y calidad de atención.

Tabla 26. Plan de actividades programadas por frecuencia de recorrido, en kilómetros.

MANTENIMIENTO PROGRAMADO		TIPO "A"	TIPO "B"	TIPO "C"	TIPO "B"	TIPO "A"	TIPO "D"
CAMBIAR / EJECUTAR	km	25.000	50.000	75.000	100.000	125.000	150.000
Aceite de motor	25.000	X	X	X	X	X	X
Filtro de aceite de motor	25.000	X	X	X	X	X	X
Filtro by pass aceite de motor	25.000	X	X	X	X	X	X
Filtro de combustible	25.000	X	X	X	X	X	X
Filtro separador de agua	25.000	X	X	X	X	X	X
Filtro de refrigerante	75.000			X			X
Filtro de aire primario	50.000		X		X		X
Aceite de retardador	50.000		X		X		X
Filtro secador de aire	75.000			X			X
Aceite de caja de cambios	75.000			X			X
Filtro de aceite de caja de cambios	75.000			X			X
Aceite de dirección hidráulica	150.000						X
Filtro de dirección	150.000						X
Aceite de diferencial	75.000			X			X
Aceite hidráulico de ventilador	150.000						X
Filtro de aceite de ventilador	150.000						X
Filtro de aire secundario	150.000						X
Refrigerante	150.000						X
Grasa	25.000	X	X	X	X	X	X
Calibración de válvulas del motor	75.000			X			X

### 5.6.2.2. Actividades preventivas para el control del rendimiento del combustible

- Elaborar semanalmente un reporte de los kilometrajes usando la telemetría (sistema automatizado de comunicación) de Volvo. Contrastar las variaciones de recorridos (en km) y actualizar los registros de kilometrajes de las unidades.
- Realizar el análisis de ruta del rendimiento del combustible más bajo del mes y elaborar un informe con los parámetros brindados por la telemetría.



Figura 23. Reporte de parámetros de gestión de combustible de telemetría.

- Realizar el análisis del combustible semestralmente en un laboratorio certificado.
- Capacitar y concientizar al personal operativo y técnico de la importancia del uso del aire acondicionado de la unidad, ya que ello influye sobre el rendimiento del combustible.

### 5.6.2.3. Actividades preventivas para el control de la disponibilidad mecánica

- Elaborar el cronograma semanal y mensual de la ejecución del mantenimiento programado de acuerdo con la proyección de recorridos (en km).
- En cada ejecución del mantenimiento programado, utilizar el equipo de diagnóstico electrónico y corregir las fallas reportadas.

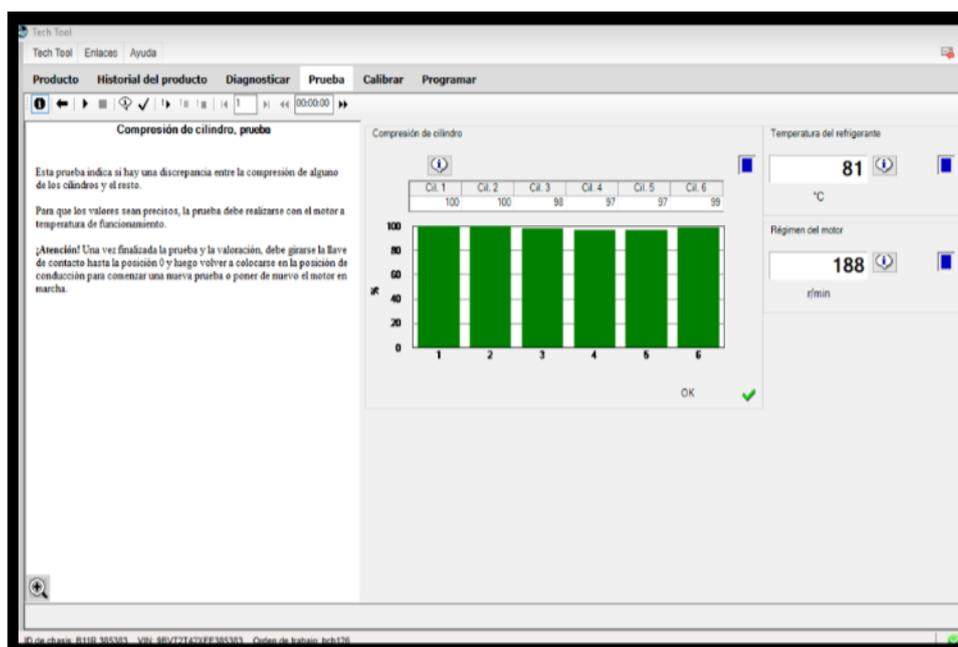


Figura 24. Reporte del equipo de diagnóstico electrónico.

- Elaborar semanalmente el reporte de tiempos de demora de atención de pedidos de compras por parte del área de logística.
- Realizar trimestralmente el inventario de herramientas.
- Realizar los reportes semanales de ejecución de costos del mantenimiento presupuestados.

- Realizar la programación de atención de las actividades de control del estado de los neumáticos.
- Realizar la capacitación trimestral al personal operativo y administrativo.
- Elaborar mensualmente el KPIs, MTBF, disponibilidad mecánica, % de ejecución – reprogramación de mantenimientos programados y quiebres de stock de repuestos.
- Realizar la capacitación trimestral al personal operativo y administrativo.

#### **5.6.2.4. Actividades preventivas para el control de niveles de hollín en el aceite lubricante.**

- Enviar las muestras de aceite usado, como máximo, en 5 días hábiles.
- Si en un reporte de análisis de aceite de motor se reporta los niveles de hollín mayores a 2,5%, se debe considerar en su siguiente mantenimiento programado, la calibración de las válvulas del motor.
- Para el caso que la tendencia del resultado de la muestra de aceite del motor supere el límite máximo permisible (3% en masa de hollín en el aceite), se debe considerar un mantenimiento correctivo programado en su siguiente retorno al taller para poder realizar la calibración de las válvulas del motor. Si, en el siguiente reporte de la muestra de aceite se mantiene la tendencia en subidas, se debe programar el cambio de inyectores.
- Realizar la capacitación trimestral en análisis de aceite al personal operativo y administrativo.

#### **5.7. Indicadores del mantenimiento después de la implementación**

Una vez implementado el PMP en la empresa, se procedió con la determinación de los indicadores que miden en cuánto mejoró la eficiencia de los 14 buses Volvo, es decir, la disponibilidad, el rendimiento de combustible y el nivel de hollín, durante el periodo marzo 2019 – febrero 2020.

### Rendimiento del combustible

El tiempo de recolección de datos para el Post - Test duró 1 año, es decir, empezó en marzo 2019 y finalizó en febrero de 2020.

Tabla 27. Rendimiento acumulativo del combustible de la flota de buses – Después de la implementación.

			RENDIMIENTO ACUMULATIVO DEL COMBUSTIBLE (km/gal)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
POST	Mar	2019	10,66	10,80	10,31	10,43	10,25	10,67	11,23	10,38	10,75	10,70	10,05	10,52	10,46	10,58
POST	Abr	2019	9,59	10,60	10,08	10,40	10,33	10,49	11,18	11,02	10,50	10,17	9,53	10,21	10,23	10,50
POST	May	2019	10,95	10,63	10,51	10,53	10,93	10,64	11,32	10,79	10,92	10,50	10,5	10,86	10,11	10,41
POST	Jun	2019	10,33	10,94	10,15	10,08	10,99	10,78	10,45	10,23	10,69	10,33	10,73	10,33	10,49	11,04
POST	Jul	2019	10,73	10,29	10,54	10,86	10,64	11,20	10,56	10,45	10,63	10,85	10,15	10,91	10,38	10,78
POST	Ago	2019	10,41	10,80	10,39	10,58	10,92	10,4	10,77	11,01	9,94	10,45	9,61	10,02	10,49	10,43
POST	Set	2019	10,60	10,73	9,81	10,88	10,56	10,52	11,24	9,90	11,10	10,82	10,86	10,33	10,58	10,54
POST	Oct	2019	10,32	10,61	10,62	10,63	10,01	10,73	10,35	10,58	10,79	10,94	11,14	10,65	10,11	10,25
POST	Nov	2019	10,66	10,67	10,42	10,17	10,88	10,16	11,02	10,98	10,57	10,84	10,81	10,61	10,04	10,05
POST	Dic	2019	10,20	9,68	10,30	10,92	10,42	11,36	10,86	10,89	10,63	10,30	10,70	10,20	10,54	10,74
POST	Ene	2020	10,96	10,79	10,76	10,72	11,19	10,19	10,89	10,06	10,37	10,89	10,48	10,30	10,40	11,29
POST	Feb	2020	10,49	10,25	10,32	10,40	10,88	10,26	10,82	10,97	10,70	10,80	9,97	10,64	9,82	9,87
<b>Promedio</b>			10,49	10,57	10,35	10,55	10,67	10,62	10,89	10,61	10,63	10,63	10,38	10,47	10,3	10,54

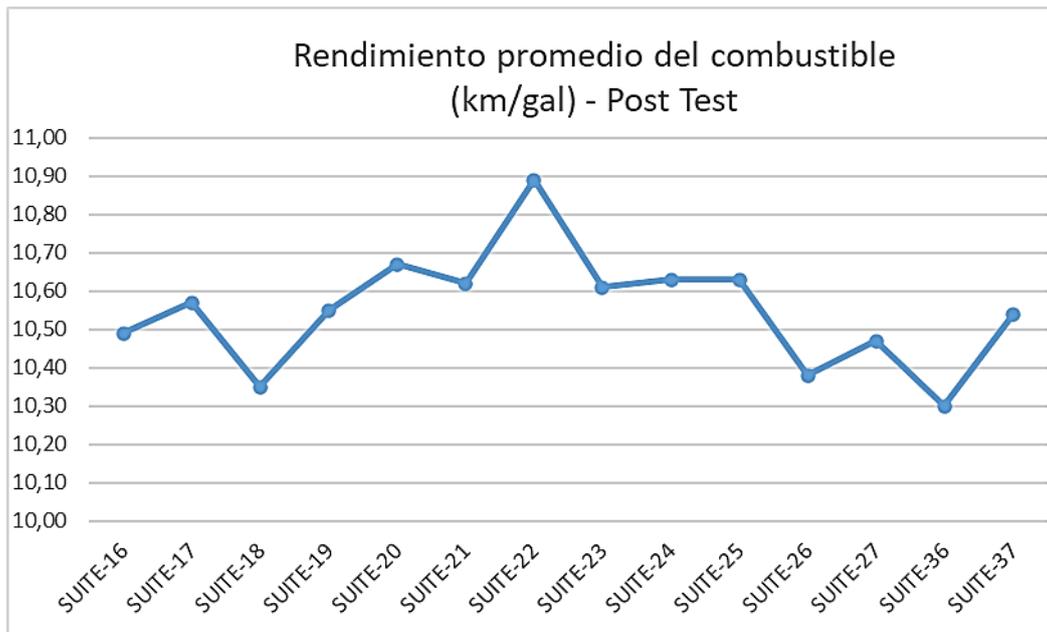


Figura 25. Rendimiento promedio del combustible (km/gal) - Después de la implementación.

Como se aprecia en la figura, el rendimiento promedio de combustible de los 14 buses varía de 10,30 a 10,89 km/gal, siendo este indicador favorable para la empresa de transporte. En ese sentido, la empresa redujo el consumo de combustible y optimizó el rendimiento vehicular, incidiendo esto positivamente en su rentabilidad.

### Disponibilidad mecánica

El tiempo de recolección de datos para el Post - Test duro 1 año, es decir, empezó en marzo 2019 y finalizó en febrero de 2020.

Para calcular la disponibilidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 & \text{Disponibilidad mecánica (1}^\circ \text{ forma) =} \\
 & \frac{\text{N}^\circ \text{ de horas en operación}}{\text{N}^\circ \text{ de horas en operación} + \text{N}^\circ \text{ de horas en mantenimiento}} \quad [ \% ] \quad (4)
 \end{aligned}$$

Tabla 28. Horas disponibles fuera de mantenimiento – Después de la implementación.

			HORAS DISPONIBLES FUERA DE MANTENIMIENTO													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
POST	Mar	2019	717	728	727	722	716	726	724	716	727	725	727	722	727	724
POST	Abr	2019	700	704	699	705	702	653	701	699	701	708	710	636	701	698
POST	May	2019	727	719	721	674	431	725	729	721	726	625	725	720	727	726
POST	Jun	2019	698	700	703	701	704	697	697	702	701	696	709	696	698	701
POST	Jul	2019	723	727	719	720	720	719	716	717	717	729	722	726	647	722
POST	Ago	2019	601	723	724	719	719	604	724	728	727	720	737	725	724	724
POST	Set	2019	703	624	710	702	699	701	703	690	699	703	549	701	703	704
POST	Oct	2019	729	559	725	676	722	723	721	726	703	726	723	718	699	722
POST	Nov	2019	703	695	703	696	703	550	696	704	695	696	701	705	554	698
POST	Dic	2019	679	726	705	699	728	701	717	726	717	721	729	621	704	719
POST	Ene	2020	727	728	723	730	723	693	725	722	724	732	696	678	719	724
POST	Feb	2020	646	654	656	620	644	652	654	657	651	645	655	653	653	535



Tabla 30. Disponibilidad mecánica – Después de la implementación.

			DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
POST	Mar	2019	96,3	97,8	97,6	97,1	96,2	97,5	97,3	96,2	97,6	97,4	97,7	97,0	97,6	97,2
POST	Abr	2019	97,3	97,8	97,1	98,0	97,4	90,6	97,3	97,1	97,3	98,3	98,6	88,3	97,3	96,9
POST	May	2019	97,6	96,6	96,9	90,6	57,9	97,5	98,0	96,9	97,5	84,0	97,4	96,8	97,6	97,5
POST	Jun	2019	96,9	97,3	97,6	97,4	97,7	96,8	96,8	97,5	97,4	96,7	98,4	96,6	96,9	97,4
POST	Jul	2019	97,2	97,6	96,6	96,7	96,7	96,6	96,2	96,4	96,4	98,0	97,0	97,5	86,9	97,1
POST	Ago	2019	80,8	97,2	97,3	96,6	96,6	81,2	97,3	97,8	97,7	96,7	99,0	97,5	97,3	97,3
POST	Set	2019	97,7	86,6	98,6	97,4	97,1	97,4	97,6	95,9	97,1	97,6	76,3	97,3	97,6	97,7
POST	Oct	2019	98,0	75,1	97,5	90,9	97,0	97,2	96,9	97,5	94,4	97,5	97,2	96,5	94,0	97,0
POST	Nov	2019	97,6	96,5	97,6	96,6	97,6	76,4	96,6	97,7	96,5	96,7	97,3	97,9	76,9	96,9
POST	Dic	2019	91,2	97,5	94,8	93,9	97,8	94,3	96,4	97,5	96,4	96,9	98,0	83,5	94,6	96,6
POST	Ene	2020	97,7	97,8	97,2	98,2	97,2	93,1	97,5	97,0	97,2	98,3	93,6	91,1	96,6	97,2
POST	Feb	2020	96,1	97,3	97,6	92,3	95,8	97,1	97,2	97,8	96,9	96,0	97,4	97,1	97,2	79,6
<b>Promedio</b>			95,4	94,6	97,2	95,5	93,8	93,0	97,1	97,1	96,9	96,2	95,7	94,8	94,2	95,7

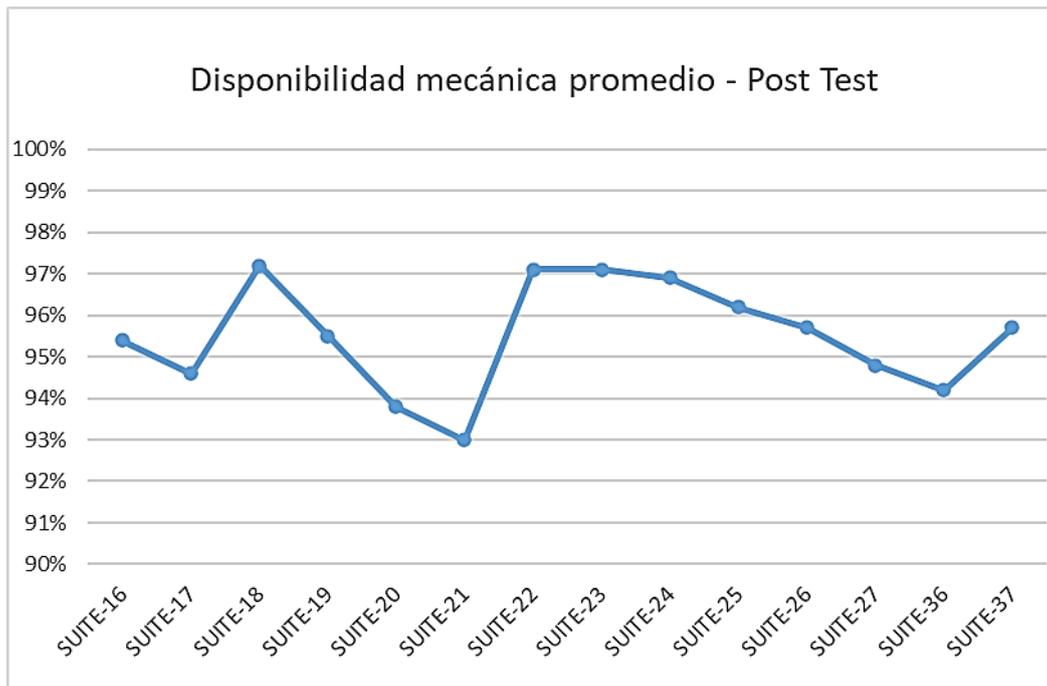


Figura 26. Disponibilidad mecánica promedio– Después de la implementación

Como se aprecia en la figura, la disponibilidad mecánica promedio de los 14 buses varía de 93,0% a 97,2%, siendo este indicador favorable, por lo que se puede inferir que mejoró el tiempo de funcionamiento de la flota de buses para las horas de trabajo planificadas para el servicio “Suite”.

#### **Niveles de hollín en el lubricante**

El tiempo de recolección de datos para el Post - Test duró 1 año, es decir, empezó en marzo 2019 y finalizó en febrero de 2020.

Tabla 31. Concentración de hollín en el aceite lubricante – Después de la implementación.

			CONCENTRACIÓN DE HOLLÍN (% en masa en el aceite lubricante)													
TEST	MES	AÑO	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37
POST	Mar	2019	2,09	-	-	-	2,31	2,64	2,16	1,95	-	2,64	2,57	2,71	-	-
POST	Abr	2019	1,93	2,23	1,59	1,69	2,06	2,28	2,11	1,90	2,18	-	-	-	2,17	2,46
POST	May	2019	-	2,18	1,48	1,83	2,02	-	-	-	2,29	2,27	2,49	2,66	-	2,30
POST	Jun	2019	1,79	2,16	-	-	-	2,04	1,98	1,79	-	1,90	-	2,36	2,06	-
POST	Jul	2019	1,80	-	1,53	1,46	1,88	1,81	1,69	1,69	2,05	-	2,41	2,18	1,96	2,13
POST	Ago	2019	1,86	2,11	1,44	1,94	1,79	1,72	1,46	-	1,97	1,55	-	-	1,84	2,09
POST	Set	2019	-	1,82	-	1,56	1,82	-	-	1,49	1,88	-	2,17	2,08	-	-
POST	Oct	2019	-	-	-	-	1,86	2,02	1,67	1,54	-	1,62	2,13	1,90	1,86	1,88
POST	Nov	2019	1,80	1,76	1,34	1,97	-	1,94	1,77	-	1,88	1,56	2,14	-	1,92	1,91
POST	Dic	2019	-	1,69	-	2,09	-	-	1,65	1,73	1,88	1,74	-	2,17	-	1,93
POST	Ene	2020	1,98	-	1,39	-	1,97	1,81	-	1,68	-	-	1,98	1,97	1,69	-
POST	Feb	2020	1,94	1,97	-	1,98	2,04	2,13	1,74	-	1,81	1,87	-	1,91	-	2,05
<b>Promedio</b>			1,90	1,99	1,46	1,82	1,97	2,04	1,80	1,72	1,99	1,89	2,27	2,22	1,93	2,09

Nota: En los meses que no figura un valor, es porque no le correspondió cambio de aceite; en consecuencia, no se tomó la muestra para obtener el reporte de análisis de aceite.

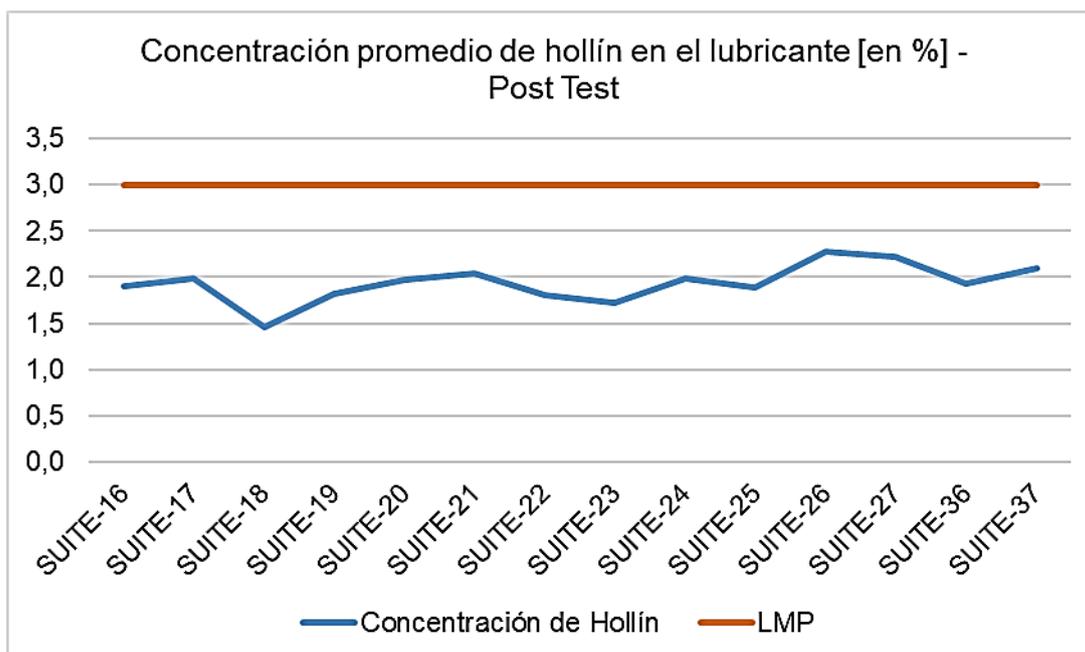


Figura 27. Concentración promedio de hollín – Después de la implementación

Como se ve en la figura 27, la concentración promedio de hollín en los 14 buses varía de 1,46% a 2,27% en masa en el aceite, siendo este último dato perteneciente al código de la unidad “SUITE-26”. Esta reducción de la concentración de hollín en el aceite lubricante respecto al periodo del pre-test se debe a que ahora hay más control y seguimiento de los reportes de análisis de aceite, permitiendo a la empresa aminorar su impacto en la salud pública y el medio ambiente. Así mismo, esta reducción de la concentración del hollín denota mejores condiciones de funcionamiento de los motores de los vehículos, alargando su vida útil y disminuyendo los costos de mantenimiento.

## 5.8. Análisis económico

### 5.8.1. Variable dependiente: Eficiencia de la flota de buses

#### 5.8.1.1. Dimensión 1: Rendimiento del combustible

Se realizó la evaluación del impacto económico al mejorar el rendimiento de combustible con el plan de mantenimiento preventivo implementado, para lo cual se consideró el precio promedio mensual del costo de combustible (El Comercio, 2021) con el respectivo consumo que tuvo cada bus y, finalmente, se comparó los montos totales obtenidos entre los meses correspondientes al pre-test y post-test.

Tabla 32. Evolución del costo de combustible, en soles/galón de Diésel B5 -S50.

<b>COSTO PROMEDIO DE COMBUSTIBLE DIESEL (SOLES / GALÓN)</b>			
<b>MES</b>	<b>AÑO</b>	<b>TEST</b>	<b>COSTO</b>
Ene	2018	PRE	10,85
Feb	2018	PRE	10,89
Mar	2018	PRE	10,82
Abr	2018	PRE	10,73
May	2018	PRE	11,22
Jun	2018	PRE	11,38
Jul	2018	PRE	11,69
Ago	2018	PRE	11,62
Set	2018	PRE	12,29
Oct	2018	PRE	12,51
Nov	2018	PRE	12,85
Dic	2018	PRE	13,01
Mar	2019	POST	12,47
Abr	2019	POST	12,38
May	2019	POST	12,49
Jun	2019	POST	12,54
Jul	2019	POST	12,40
Ago	2019	POST	12,35
Set	2019	POST	12,35
Oct	2019	POST	12,32
Nov	2019	POST	12,28
Dic	2019	POST	12,42
Ene	2020	POST	12,56
Feb	2020	POST	12,52

Como referencia, el tipo de cambio de dólar en el periodo de pre-test y post-test estuvo en el rango de 3,218 a 3,392 soles.

Tabla 33. Consumo de combustible por unidad en el periodo del pre-test.

BUSES	PRE-TEST (CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EN GALONES)												
	2018												SUBTOTAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
SUITE-16	1.829	1.557	1.310	1.942	1.635	1.555	1.649	1.821	1.834	1.860	1.496	1.875	<b>20.363</b>
SUITE-17	1.651	1.746	1.791	1.768	1.753	1.863	1.839	1.731	1.735	1.591	1.806	1.818	<b>21.091</b>
SUITE-18	1.757	1.832	1.836	1.732	1.738	1.640	1.601	1.824	1.633	1.866	1.656	1.758	<b>20.872</b>
SUITE-19	1.667	1.728	1.793	1.524	2.018	1.943	1.550	1.959	1.908	1.863	1.832	1.936	<b>21.721</b>
SUITE-20	1.717	1.349	2.057	1.512	2.007	1.576	1.812	1.718	1.817	1.831	1.789	1.676	<b>20.863</b>
SUITE-21	1.910	1.668	1.871	1.329	1.440	936	1.713	1.769	1.499	1.685	1.982	1.886	<b>19.687</b>
SUITE-22	1.783	1.607	1.506	1.672	1.593	1.657	1.626	1.771	1.438	1.887	1.674	1.738	<b>19.952</b>
SUITE-23	1.357	1.849	1.544	1.705	1.708	1.740	1.855	1.823	1.570	1.855	1.489	1.756	<b>20.253</b>
SUITE-24	1.877	1.545	1.497	1.887	1.905	1.734	2.041	1.715	1.915	1.936	1.767	1.722	<b>21.541</b>
SUITE-25	1.761	1.723	1.974	1.515	1.964	1.678	1.756	1.762	1.929	1.809	1.699	1.889	<b>21.459</b>
SUITE-26	2.236	1.522	1.975	1.762	1.770	1.523	1.579	1.981	1.676	2.114	1.610	1.760	<b>21.507</b>
SUITE-27	1.639	1.644	2.060	1.690	1.922	1.555	1.758	1.714	1.868	1.654	1.801	2.101	<b>21.408</b>
SUITE-36	2.157	1.448	1.955	1.677	1.738	1.606	1.673	1.835	1.950	1.706	1.644	2.092	<b>21.480</b>
SUITE-37	1.724	1.949	1.761	1.380	1.709	1.877	1.827	1.555	1.583	1.100	1.397	1.820	<b>19.682</b>
<b>TOTAL</b>	<b>25.065</b>	<b>23.168</b>	<b>24.930</b>	<b>23.096</b>	<b>24.901</b>	<b>22.882</b>	<b>24.281</b>	<b>24.979</b>	<b>24.353</b>	<b>24.758</b>	<b>23.641</b>	<b>25.827</b>	<b>291.878</b>

Tabla 34. Consumo de combustible por unidad en el periodo del post-test.

BUSES	POST-TEST (CONSUMO DE COMBUSTIBLE, EN GALONES)												SUBTOTAL
	2019										2020		
	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	
SUITE-16	1.728	1.429	1.969	1.550	1.856	1.230	1.327	1.423	1.482	1.626	1.296	1.465	18.381
SUITE-17	1.726	1.200	1.746	1.519	1.569	1.654	1.666	1.582	1.539	1.340	1.781	1.385	18.708
SUITE-18	1.534	1.483	1.791	1.554	1.737	1.645	903	1.776	1.595	1.288	1.832	1.629	18.767
SUITE-19	1.658	1.129	1.765	1.846	1.677	1.716	1.519	1.970	1.650	1.237	1.884	1.872	19.922
SUITE-20	1.568	1.574	1.783	1.661	1.605	1.629	1.616	1.735	1.528	1.517	1.622	1.508	19.345
SUITE-21	1.674	1.701	1.902	1.576	1.579	1.660	1.707	1.760	1.587	1.689	1.291	1.923	20.049
SUITE-22	1.497	1.543	1.340	1.584	1.760	1.531	1.742	1.458	1.547	1.649	1.780	1.525	18.956
SUITE-23	1.733	1.602	1.583	1.499	1.708	1.823	1.681	1.318	1.889	1.347	1.502	1.596	19.280
SUITE-24	1.723	1.587	1.668	1.654	1.618	1.642	1.651	1.877	1.543	1.711	1.699	1.665	20.038
SUITE-25	1.794	1.127	2.036	1.575	1.545	1.811	1.809	1.536	1.630	1.548	1.526	1.463	19.400
SUITE-26	1.673	1.013	1.861	1.030	1.675	511	1.750	1.702	1.806	1.537	1.609	1.556	17.722
SUITE-27	1.677	1.460	1.633	1.773	1.407	1.531	1.711	1.759	1.709	1.789	1.656	1.432	19.538
SUITE-36	1.374	1.614	1.749	1.608	1.737	1.720	1.707	1.727	1.609	1.686	1.626	1.687	19.844
SUITE-37	1.756	1.650	1.369	1.648	1.375	1.807	1.618	1.801	1.634	1.619	1.932	1.507	19.716
<b>TOTAL</b>	<b>23.114</b>	<b>20.113</b>	<b>24.195</b>	<b>22.078</b>	<b>22.848</b>	<b>21.910</b>	<b>22.406</b>	<b>23.424</b>	<b>22.748</b>	<b>21.583</b>	<b>23.036</b>	<b>22.213</b>	<b>269.667</b>

Tabla 35. Comparación del consumo de combustible entre el pre-test y post-test para cada unidad en estudio.

BUSES	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (GALONES)	
	PRE-TEST	POST-TEST
SUITE-16	20.363	18.381
SUITE-17	21.091	18.708
SUITE-18	20.872	18.767
SUITE-19	21.721	19.922
SUITE-20	20.863	19.345
SUITE-21	19.687	20.049
SUITE-22	19.952	18.956
SUITE-23	20.253	19.280
SUITE-24	21.541	20.038
SUITE-25	21.459	19.400
SUITE-26	21.507	17.722
SUITE-27	21.408	19.538
SUITE-36	21.480	19.844
SUITE-37	19.682	19.716
<b>TOTAL</b>	<b>291.878</b>	<b>269.667</b>

Cabe mencionar que para la comparación del consumo de combustible en la tabla 35, los períodos fueron iguales (12 meses cada uno). En relación con los recorridos, estos fueron similares; ya que el recorrido total en el período de pre-test de la flota de los buses de estudio fue de 2.839.973 km y para el post-test fue igual a 2.844.987 km, lo cual representa una variación de solo 0,17%.

Tabla 36. Comparación de los costos del consumo de combustible entre el pre-test y post-test para cada unidad en el estudio.

BUSES	COSTO DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	
	PRE-TEST	POST-TEST
SUITE-16	S/ 237.709	S/ 228.411
SUITE-17	S/ 245.835	S/ 232.446
SUITE-18	S/ 243.086	S/ 233.224
SUITE-19	S/ 253.775	S/ 247.572
SUITE-20	S/ 243.452	S/ 240.338
SUITE-21	S/ 230.275	S/ 249.059
SUITE-22	S/ 232.804	S/ 235.504
SUITE-23	S/ 236.194	S/ 239.466
SUITE-24	S/ 251.389	S/ 248.947
SUITE-25	S/ 250.367	S/ 241.017
SUITE-26	S/ 250.403	S/ 220.175
SUITE-27	S/ 249.990	S/ 242.717
SUITE-36	S/ 250.617	S/ 246.511
SUITE-37	S/ 228.595	S/ 244.935
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 3.404.491</b>	<b>S/ 3.350.321</b>
<b>AHORRO</b>	<b>S/ 54.170</b>	

De forma similar a la tabla 35, se tiene como consideración que los periodos y recorridos fueron similares para el comparativo de la flota de buses.

Finalmente, comparando los costos por consumo de combustible entre el pre y el post test se logró un ahorro promedio de 54.170 soles (en promedio, esta cantidad representa 1,6% respecto al costo del periodo del pre-test), lo cual tiene un alto impacto ya que el costo del combustible es uno de los gastos operativos más altos dentro de la estructura de costos de una empresa de transporte, más aún debido al aumento del precio del petróleo en el tiempo (ver tabla 36).

#### 5.8.1.2. Dimensión 2: Disponibilidad mecánica

Se realizó una evaluación para cuantificar los ahorros económicos generados frente a la mejora de los niveles de disponibilidad de la flota debido a la implementación de un plan de mantenimiento preventivo, para lo cual se consideró los costos generados por los mantenimientos preventivos (inspecciones y mantenimiento programado) y mantenimiento correctivo; para ambos casos se incluyen la mano de obra y los repuestos.

Tabla 37. Evaluación económica de los costos de mantenimiento pre-test y post-test.

CÓDIGO DE BUSES	PRE-TEST			POST-TEST			AHORRO	AHORRO (%)
	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	SUBTOTAL	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	SUBTOTAL		
SUITE-16	S/ 9.924	S/ 8.123	S/ 18.048	S/ 7.210	S/ 7.782	S/ 14.991	-S/ 3.056	-16,9%
SUITE-17	S/ 10.733	S/ 8.410	S/ 19.144	S/ 7.571	S/ 8.072	S/ 15.643	-S/ 3.501	-18,3%
SUITE-18	S/ 6.901	S/ 7.611	S/ 14.513	S/ 3.866	S/ 7.165	S/ 11.030	-S/ 3.482	-24,0%
SUITE-19	S/ 12.557	S/ 8.584	S/ 21.142	S/ 6.684	S/ 9.927	S/ 16.611	-S/ 4.531	-21,4%
SUITE-20	S/ 2.974	S/ 9.706	S/ 12.680	S/ 5.257	S/ 6.897	S/ 12.155	-S/ 525	-4,1%
SUITE-21	S/ 5.302	S/ 10.797	S/ 16.099	S/ 6.297	S/ 9.682	S/ 15.979	-S/ 120	-0,7%
SUITE-22	S/ 8.981	S/ 9.292	S/ 18.273	S/ 3.665	S/ 9.733	S/ 13.398	-S/ 4.875	-26,7%
SUITE-23	S/ 7.029	S/ 9.769	S/ 16.798	S/ 4.677	S/ 10.845	S/ 15.522	-S/ 1.276	-7,6%
SUITE-24	S/ 11.145	S/ 10.523	S/ 21.668	S/ 6.067	S/ 10.234	S/ 16.302	-S/ 5.366	-24,8%
SUITE-25	S/ 11.250	S/ 9.651	S/ 20.900	S/ 7.802	S/ 13.084	S/ 20.886	-S/ 14	-0,1%
SUITE-26	S/ 9.438	S/ 11.107	S/ 20.545	S/ 4.865	S/ 12.096	S/ 16.961	-S/ 3.583	-17,4%
SUITE-27	S/ 6.616	S/ 10.027	S/ 16.643	S/ 5.276	S/ 12.039	S/ 17.315	S/ 672	4,0%
SUITE-36	S/ 5.689	S/ 10.059	S/ 15.748	S/ 6.869	S/ 9.244	S/ 16.113	S/ 364	2,3%
SUITE-37	S/ 8.417	S/ 11.789	S/ 20.206	S/ 8.671	S/ 10.992	S/ 19.663	-S/ 543	-2,7%
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 116.956</b>	<b>S/ 135.450</b>	<b>S/ 252.406</b>	<b>S/ 84.778</b>	<b>S/ 137.791</b>	<b>S/ 222.569</b>	<b>-S/ 29.836</b>	<b>-11,8%</b>
	<b>46,3%</b>	<b>53,66%</b>	<b>100,0%</b>	<b>38,1%</b>	<b>61,9%</b>	<b>100,0%</b>		

Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo se logró un ahorro significativo para la flota de 29.836 soles con respecto al periodo del pre-test (11,8%), como se puede ver en la tabla 37; adicionalmente, el porcentaje de gastos por mantenimientos correctivos de la flota de 14 buses disminuyó en un 8,2% lo cual se relaciona con la mejora en la disponibilidad mecánica obtenida, ya que el plan de mantenimiento preventivo abarca una planificación óptima en relación a lo que se venía realizando, tanto en tiempo como en respaldo a las demás áreas, y personal con capacitación constante, midiendo mensualmente los indicadores para mantener la mejora continua.

### 5.8.1.3. Dimensión 3: Control de los niveles de hollín en el aceite lubricante

Para poder cuantificar el impacto económico al llevar a cabo los controles preventivos en los niveles de hollín en el aceite lubricante que se reportan en los análisis del aceite de motor, se muestra en la figura 28 como este parámetro es directamente proporcional a los recorridos del bus, es decir, inicia con 0% cuando el aceite es nuevo y llega a un cierto valor de acuerdo con las condiciones internas del motor. Para la evaluación realizada en la figura 28, llegó a 2,64%, lo que corresponde al momento del cambio de aceite en el mantenimiento programado.

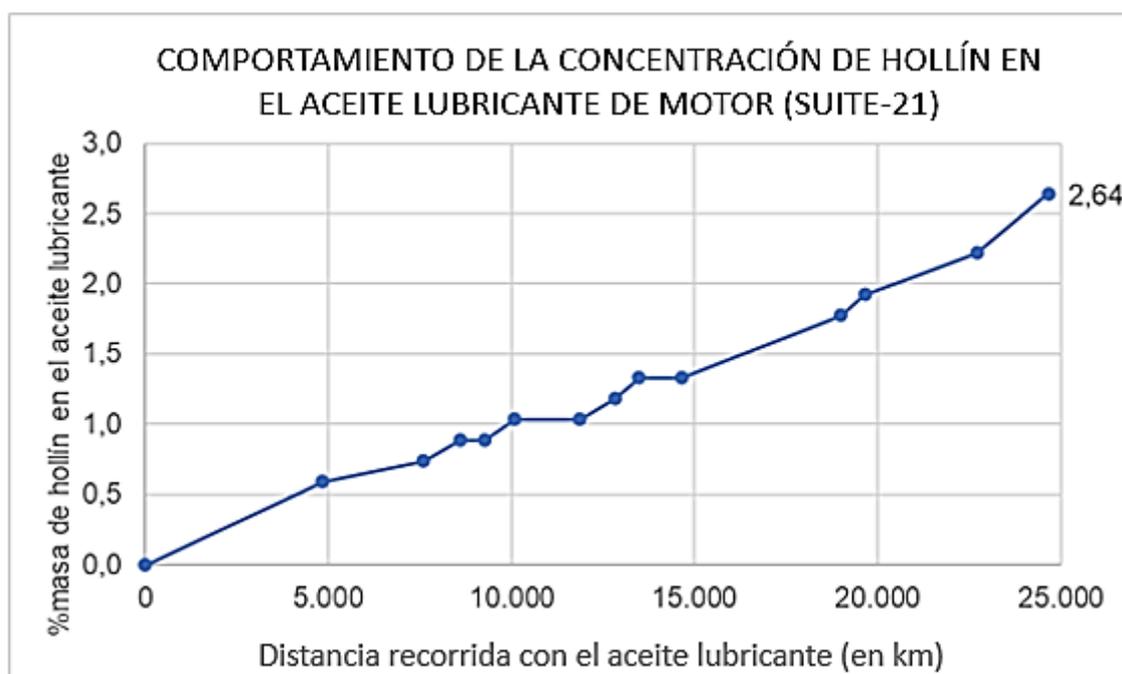


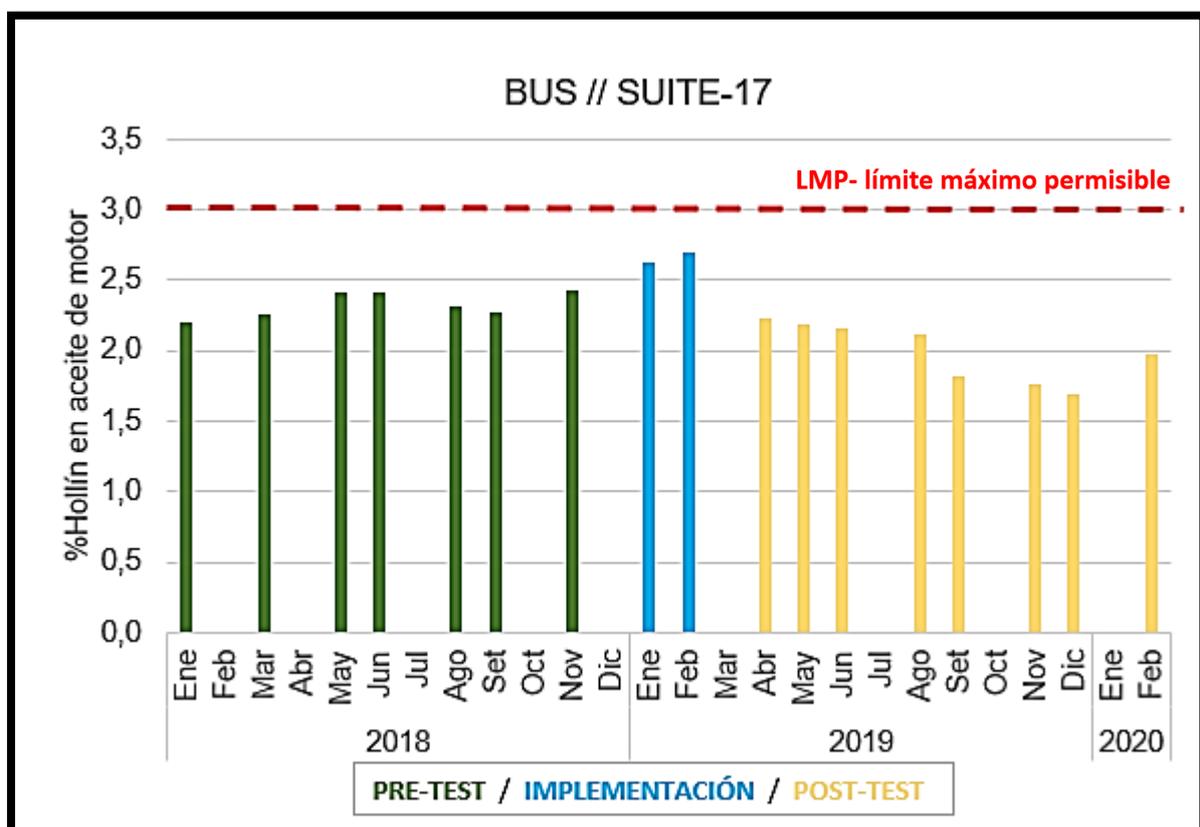
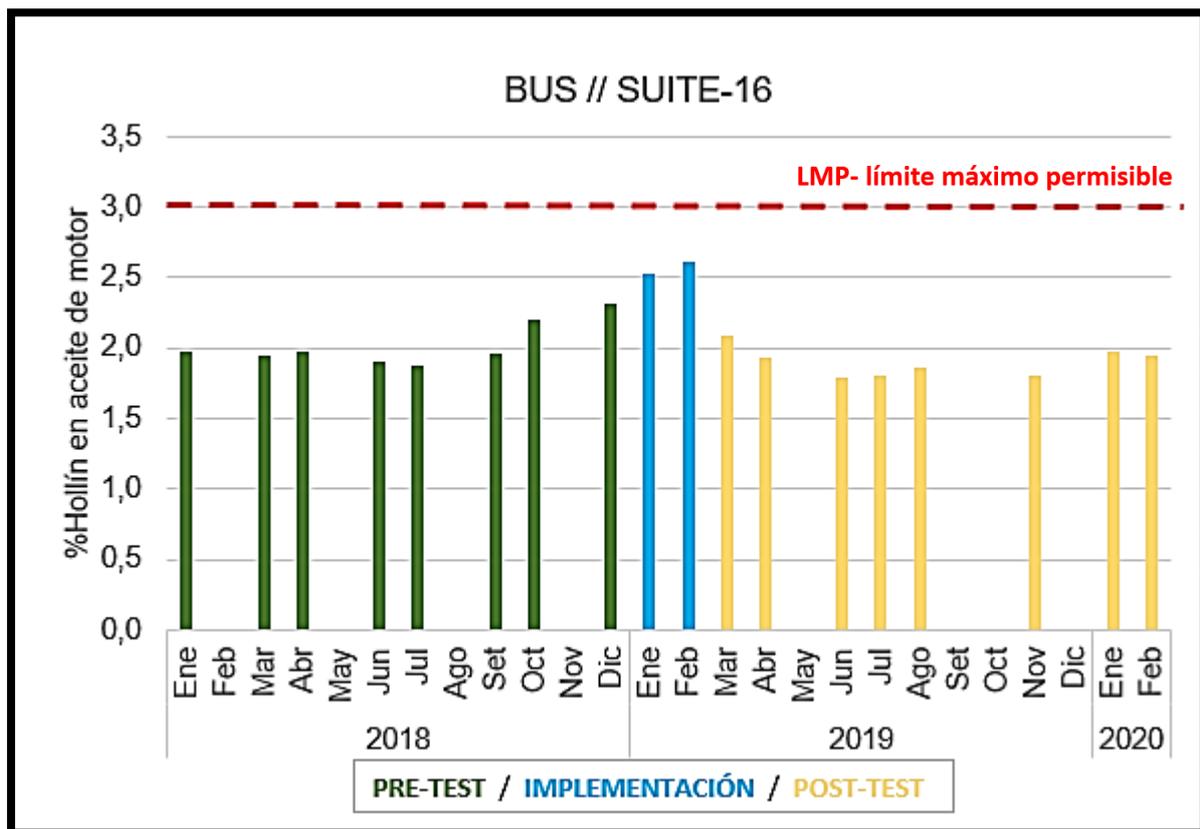
Figura 28. Tendencia de concentración de hollín en aceite lubricante del motor del bus SUITE-21, con programación de cambio de aceite en marzo 2019.

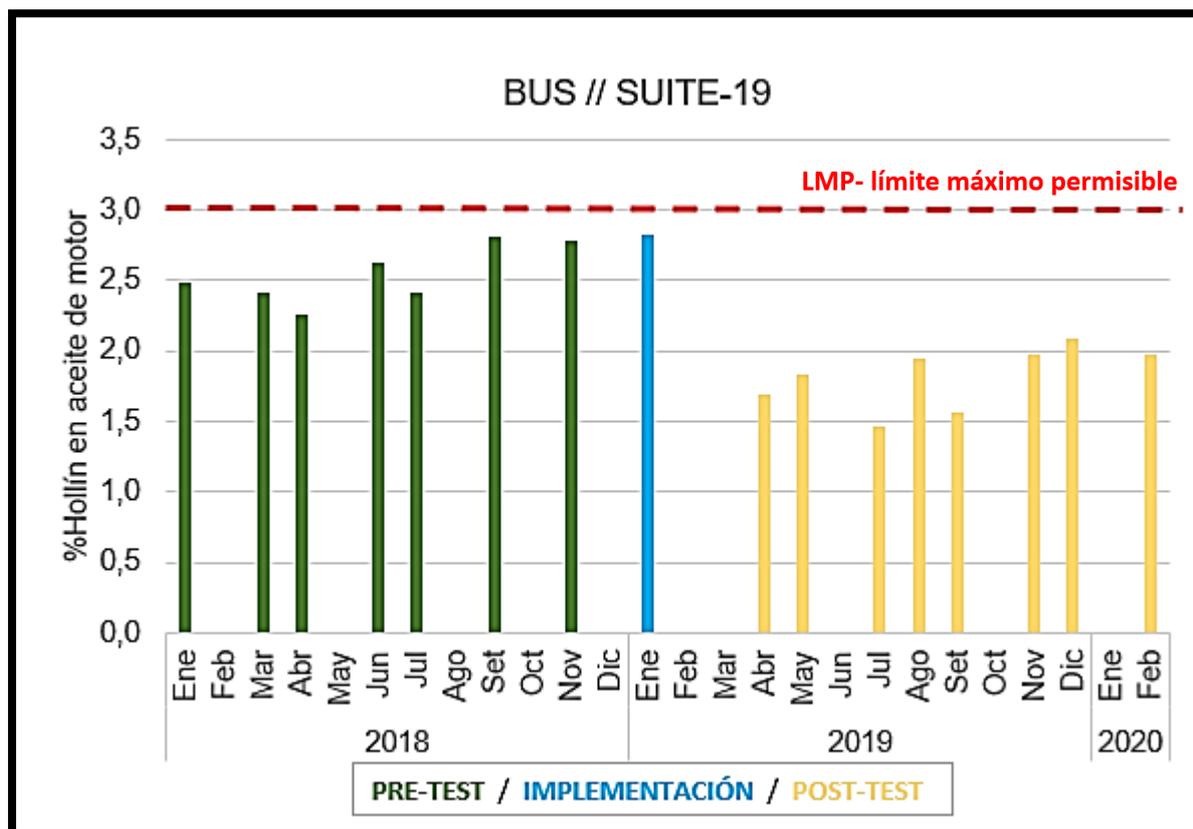
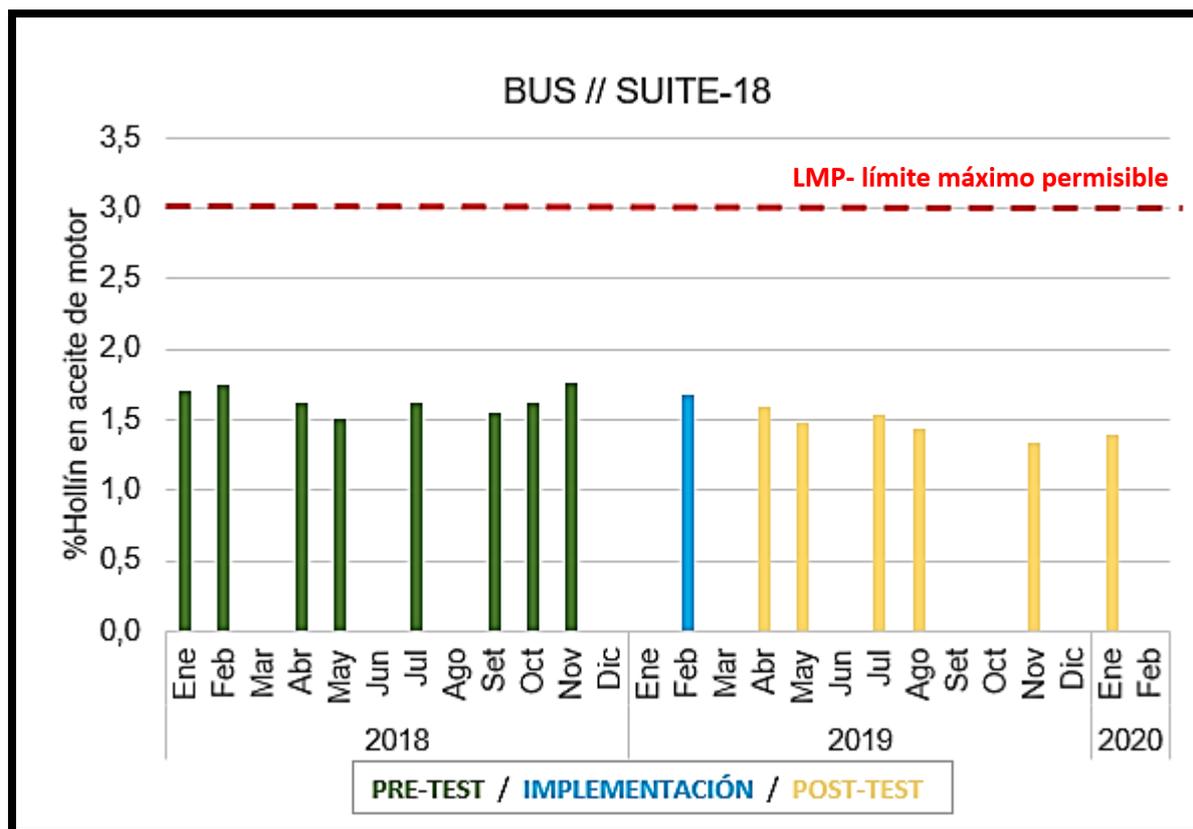
A continuación, se muestra en la figura 29 la tendencia de los reportes de niveles de hollín, en los análisis de aceite, donde se puede observar que estos niveles comienzan a disminuir después de la ejecución programada de la calibración de las válvulas del motor a cada bus (color verde representa al período del pre-test, el color celeste corresponde al período de implementación del plan de mantenimiento preventivo y el color crema corresponde al período de post-test). Como observación, se debe indicar que para los meses en los cuales no se observa un valor, esto es debido a que al motor del bus no le correspondió mantenimiento programado de cambio de aceite, en consecuencia, no se tomó la muestra de aceite.

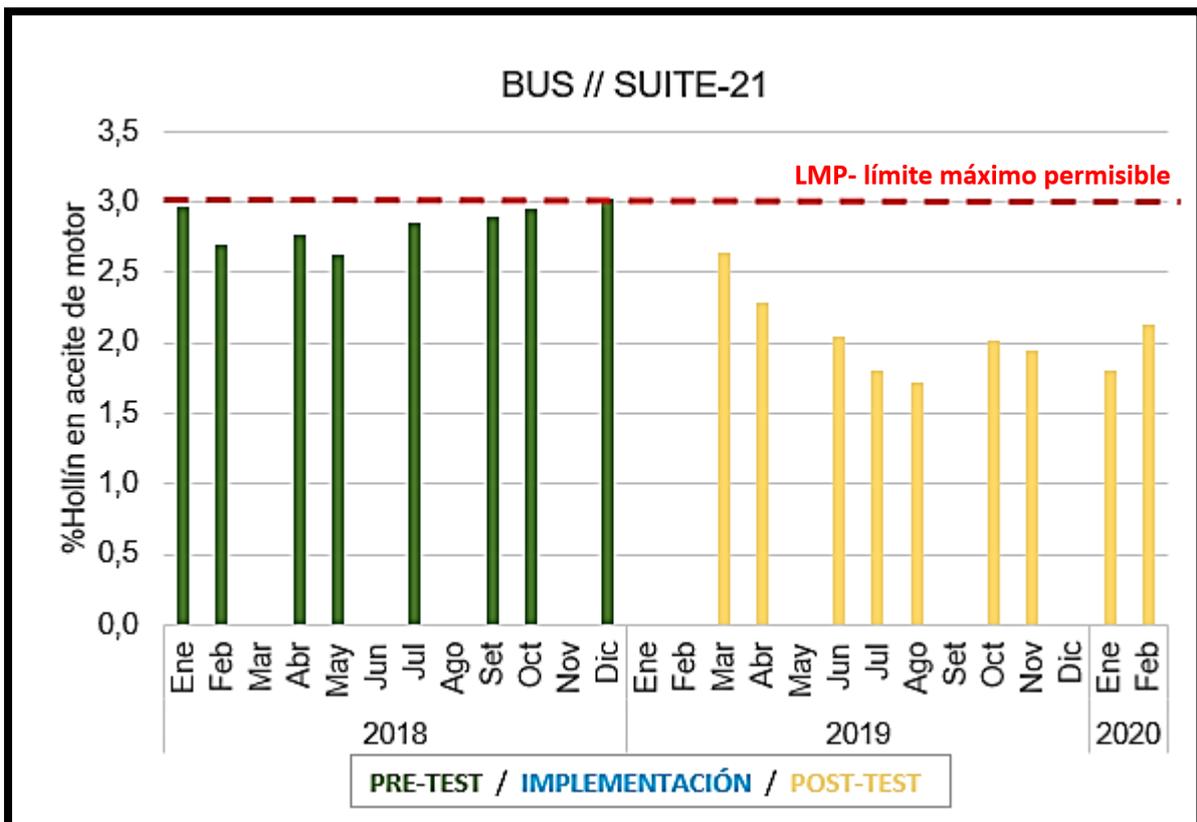
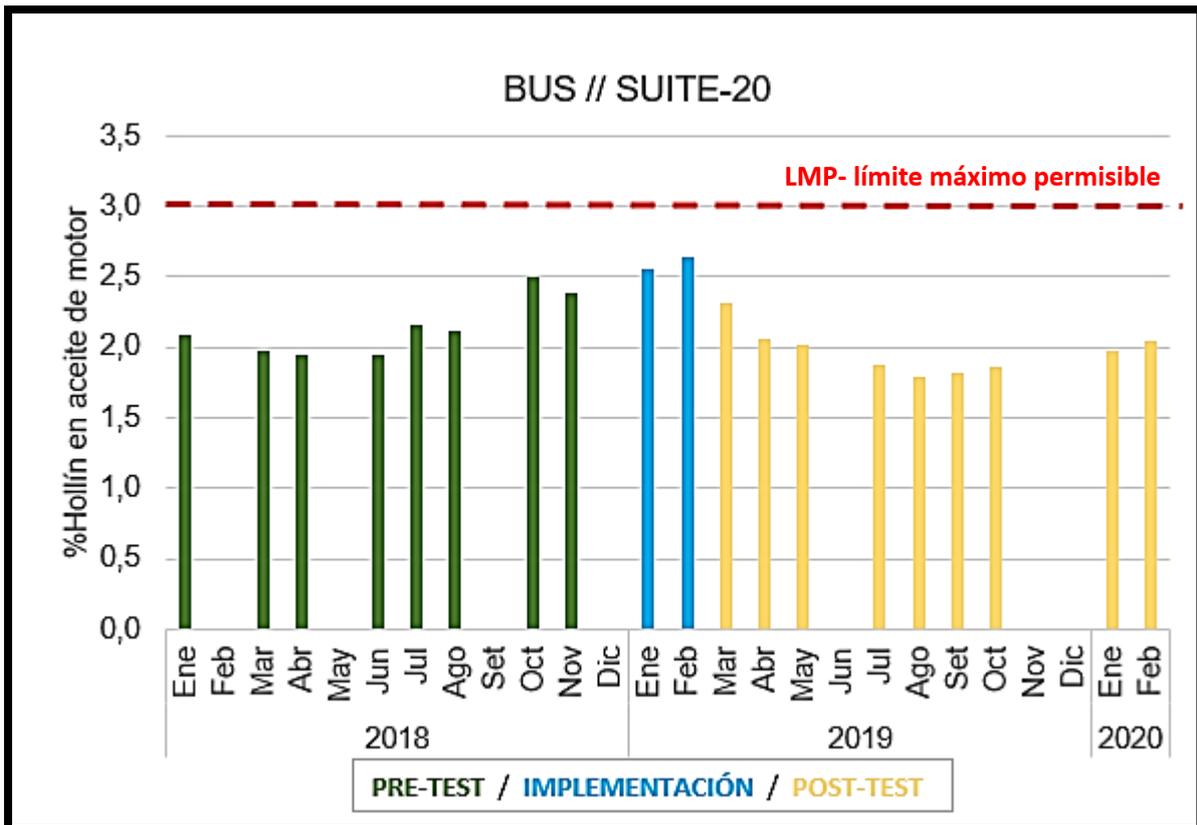
Tabla 38. Mes de ejecución de la calibración de válvulas del motor para cada bus, posterior al pre-test.

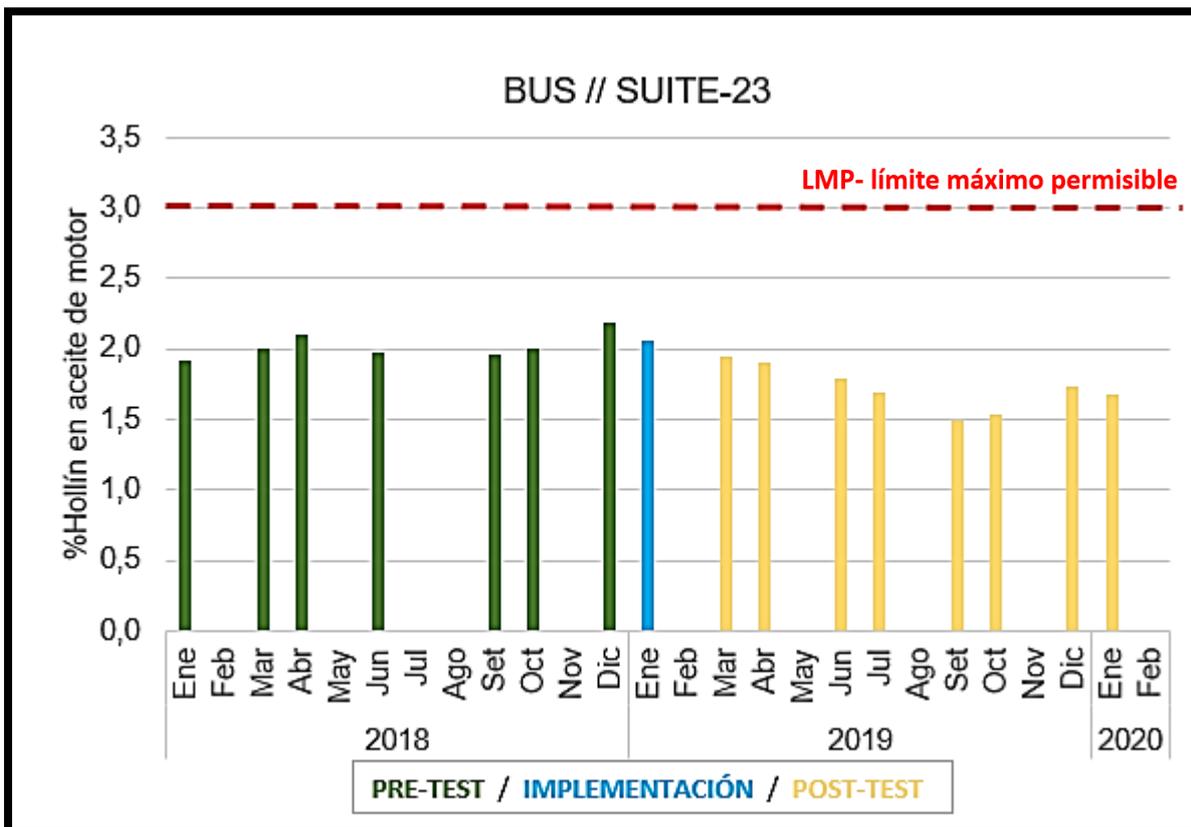
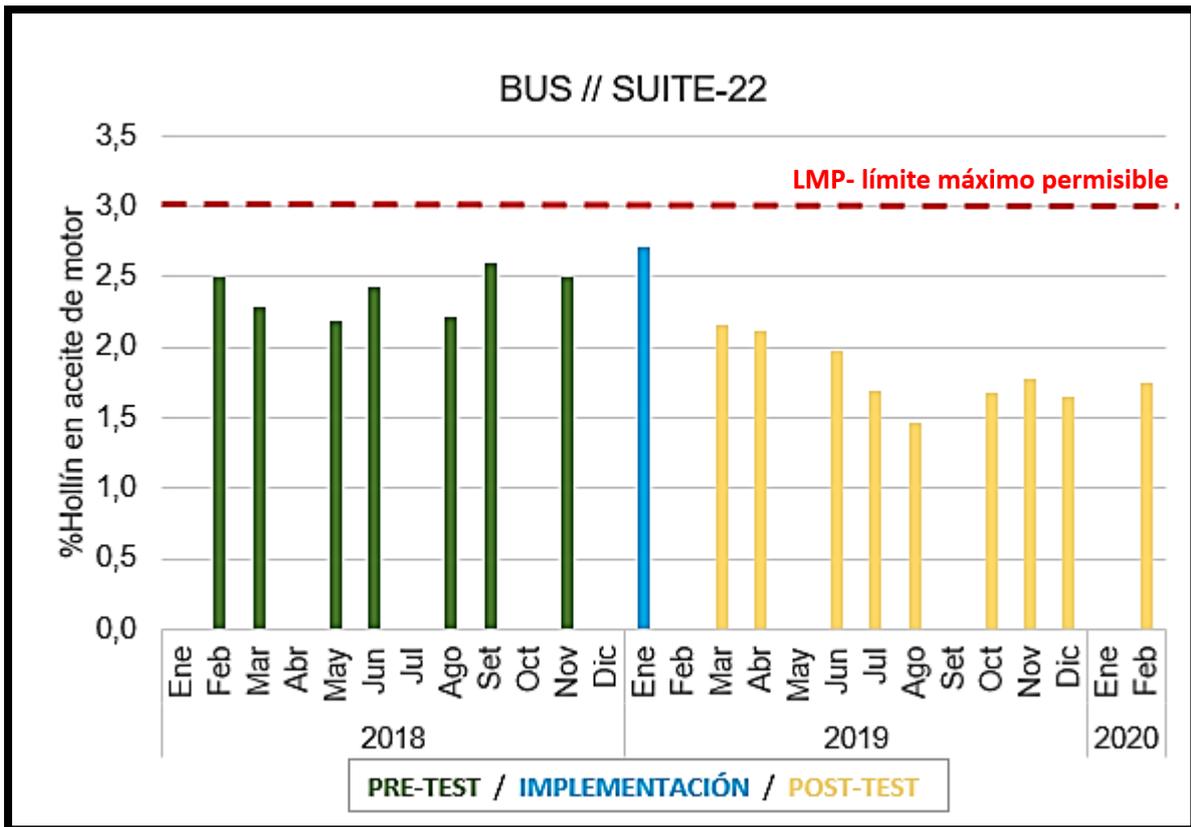
BUS	FECHA
<b>SUITE-16</b>	Feb-19
<b>SUITE-17</b>	Feb-19
<b>SUITE-18</b>	Dentro de rango
<b>SUITE-19</b>	Ene-19
<b>SUITE-20</b>	Feb-19
<b>SUITE-21</b>	Abr-19
<b>SUITE-22</b>	Ene-19
<b>SUITE-23</b>	Dentro de rango
<b>SUITE-24</b>	Ene-19
<b>SUITE-25</b>	Ene-19
<b>SUITE-26</b>	Ene-19
<b>SUITE-27</b>	Abr-19
<b>SUITE-36</b>	Feb-19
<b>SUITE-37</b>	Feb-19

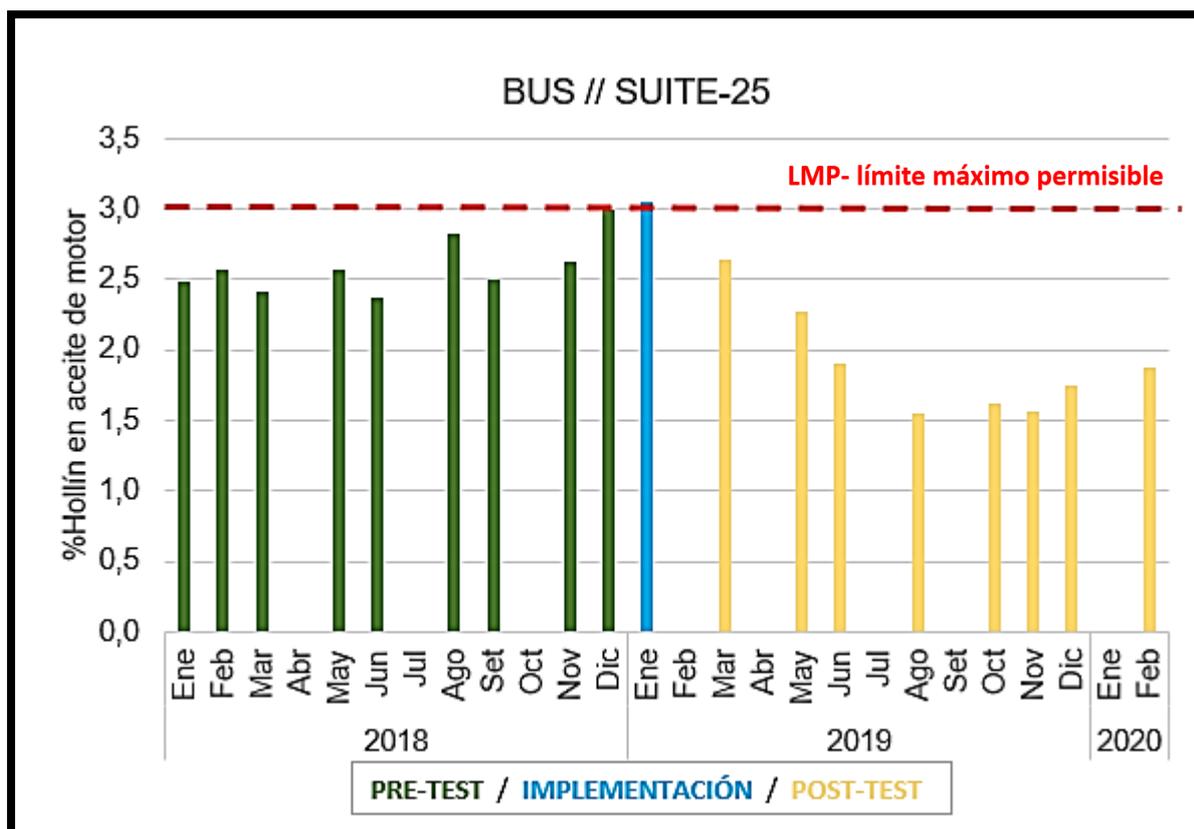
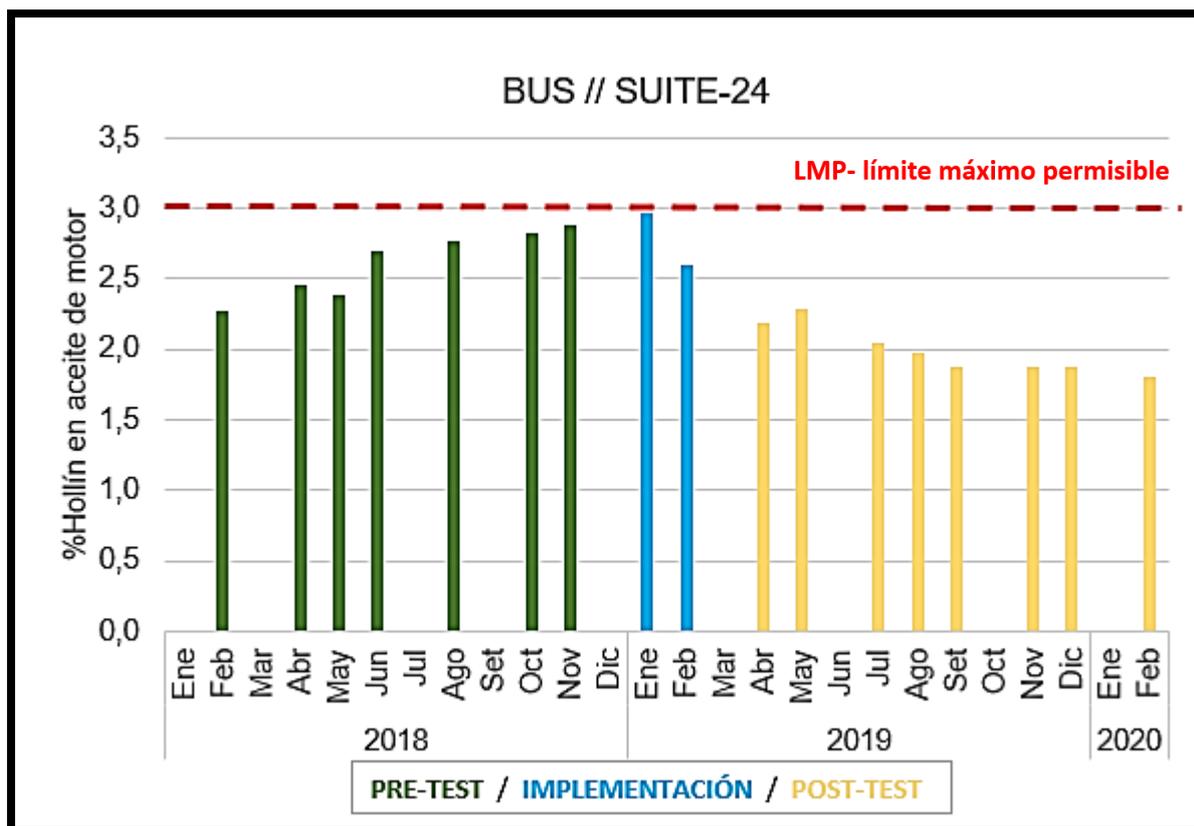
A continuación, se muestra los reportes de la concentración de hollín en el aceite de motor de los 14 buses del servicio "Suite".

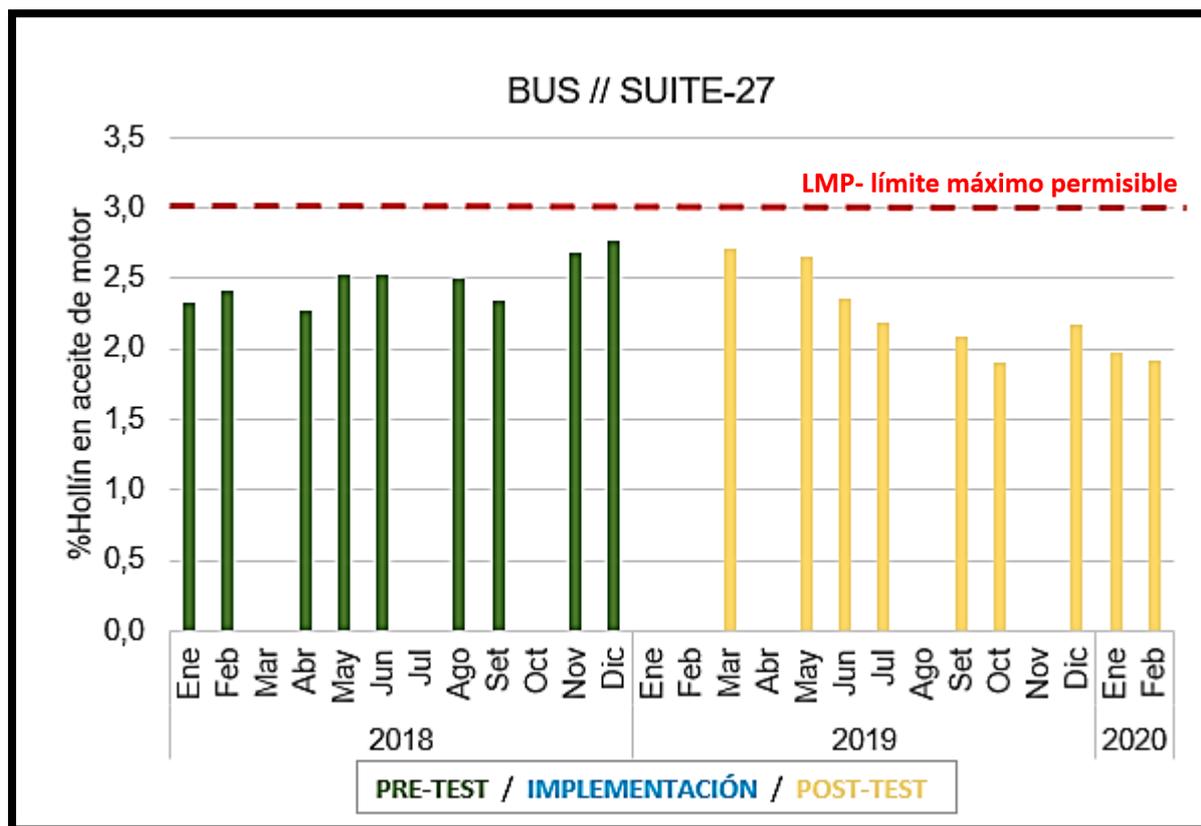
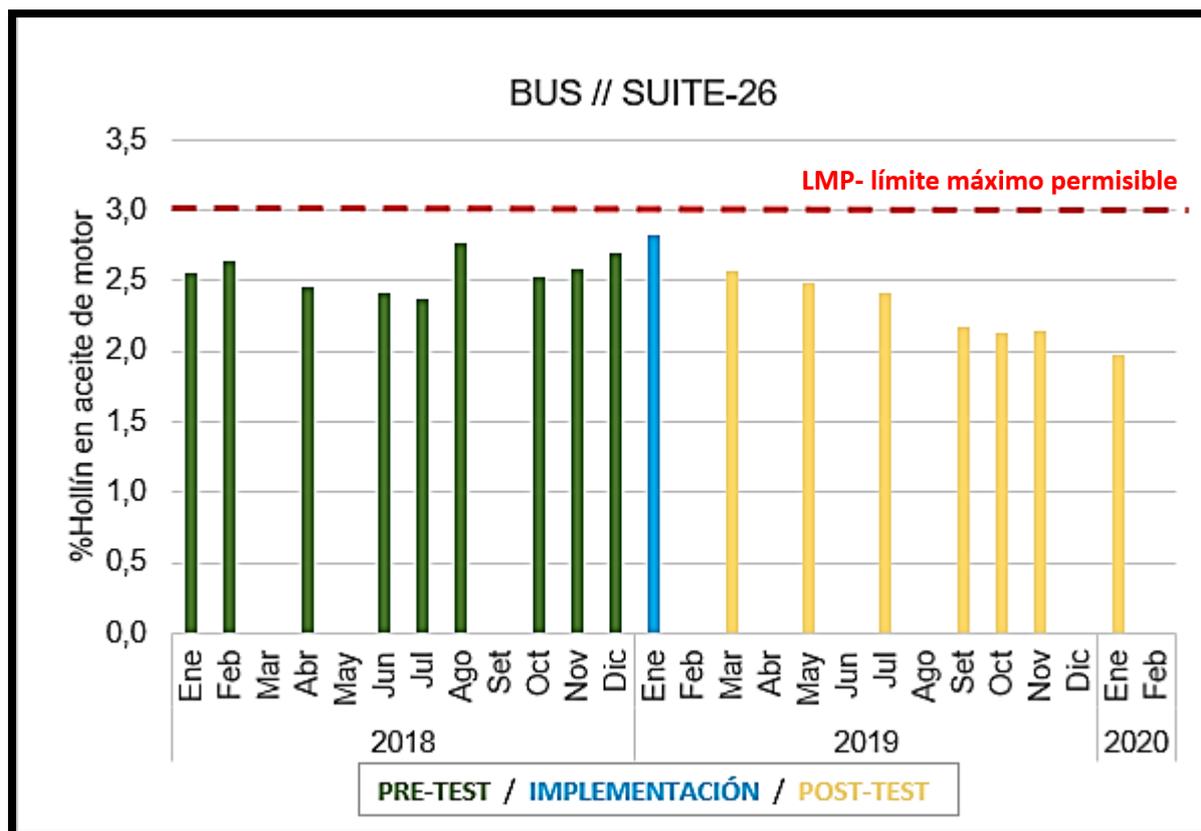












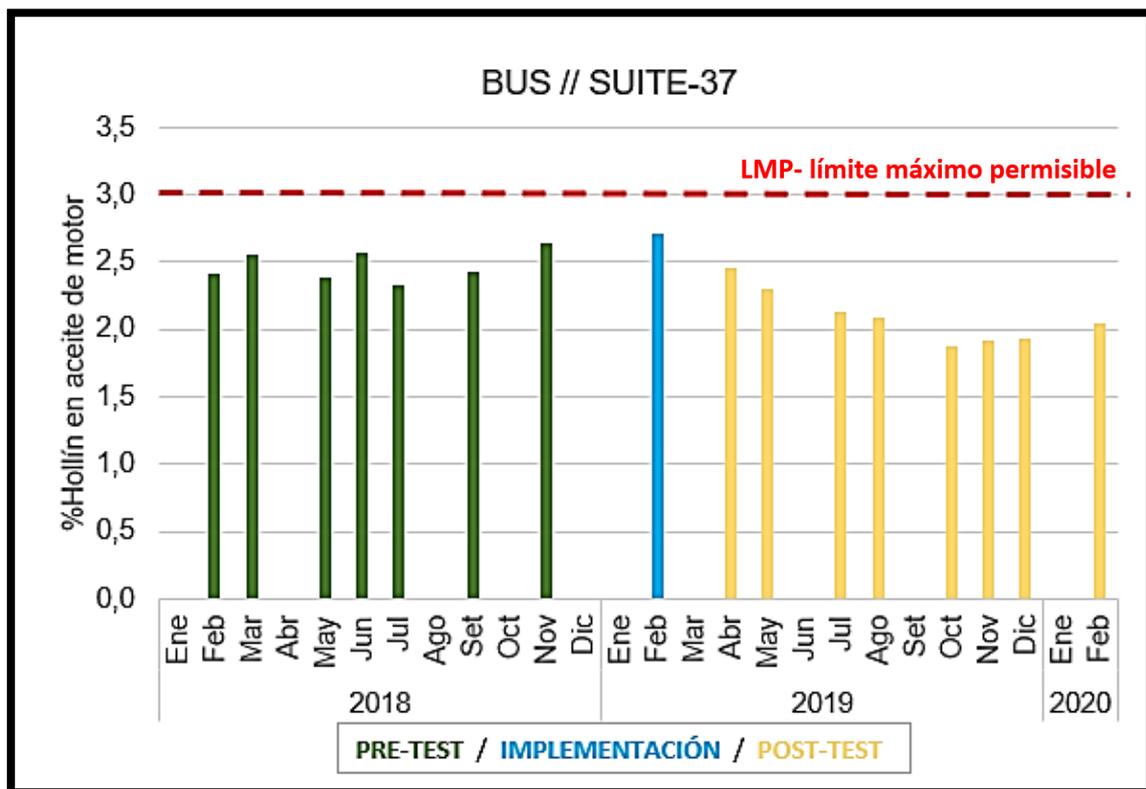
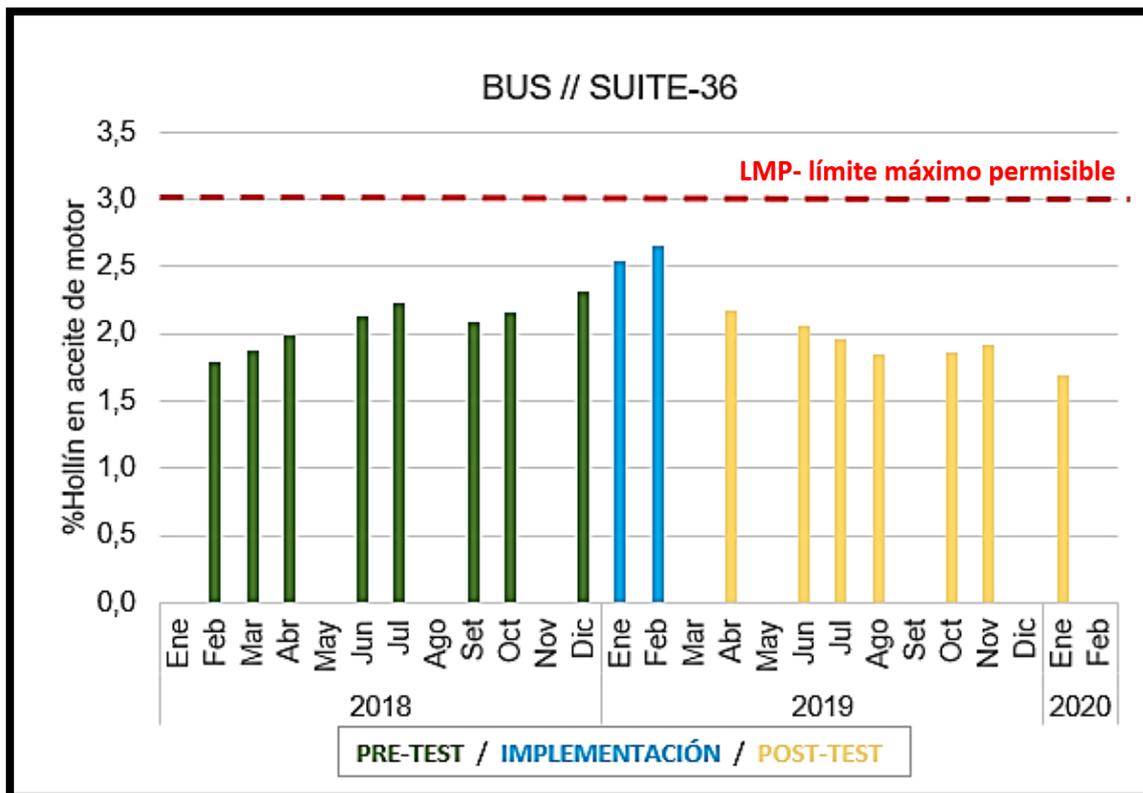


Figura 29. Reportes de la concentración de hollín en el aceite de motor de los 14 buses del servicio “Suite”.

En cada uno de estos gráficos, la tendencia de los reportes de hollín en el aceite de motor para cada bus demuestra que se logra extender el óptimo desempeño de los inyectores al reducirse la concentración de hollín en el aceite, entonces para poder cuantificar esto económicamente, se consideró un cálculo promedio en relación con la extensión de la vida útil de los inyectores, manteniendo el límite máximo permisible (3% de hollín en masa en el aceite lubricante), brindado por el representante de la marca del bus.

En la tabla 39, se consideró cuantificar el costo del cambio de inyectores, el cual, por recomendación del fabricante se debería cambiar cuando se supere el límite máximo permisible de concentración de hollín (3%), y, en la tabla 40, se realizó el cálculo del porcentaje de reducción de concentración de hollín en el aceite lubricante, y con ello poder proporcionar cuánto es el ahorro equivalente por la extensión de la vida útil de los inyectores.

Tabla 39. Costos promedio del cambio de inyectores de combustible para un bus Volvo-B430R entre los años 2018 a 2020.

CAMBIO DE INYECTORES DE COMBUSTIBLE	
DESCRIPCIÓN	COSTO
MANO DE OBRA	S/ 850
REPUESTOS	S/ 27.700
<b>TOTAL</b>	<b>S/ 28.550</b>

Tabla 40. Evaluación del ahorro por reducción de concentración de hollín en el aceite del motor entre el período del pre-test y post-test.

DESCRIPCIÓN	VALOR PROMEDIO DE CONCENTRACIÓN EN MASA (%) DE HOLLÍN EN ACEITE DE MOTOR POR BUS														
	SUITE-16	SUITE-17	SUITE-18	SUITE-19	SUITE-20	SUITE-21	SUITE-22	SUITE-23	SUITE-24	SUITE-25	SUITE-26	SUITE-27	SUITE-36	SUITE-37	
PRE-TEST	2,019	2,326	1,640	2,537	2,139	2,845	2,387	2,017	2,613	2,593	2,556	2,483	2,073	2,473	
POST-TEST	1,899	1,990	1,462	1,815	1,972	2,043	1,803	1,721	1,993	1,894	2,270	2,216	1,929	2,094	
REDUCCIÓN	0,120	0,336	0,178	0,722	0,167	0,802	0,584	0,296	0,620	0,700	0,286	0,268	0,144	0,379	
<b>AHORRO POR EXTENSIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS INYECTORES DE COMBUSTIBLE</b>															
AHORRO (SOLES)	1.142	3.198	1.694	6.871	1.589	7.632	5.558	2.817	5.900	6.662	2.722	2.550	1.370	3.607	<b>53.312</b>
															<b>TOTAL</b>

Para calcular el ahorro se consideró la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro por extensión de vida útil de los inyectores de combustible} = (\text{reducción de concentración de hollín}) \times \left( \frac{\text{costo promedio de cambio de inyectores}}{\text{limite máximo permisible de hollín}} \right) [\text{soles}] \quad (7)$$

Adicionalmente, la implementación del plan de mantenimiento preventivo (PMP) también permitió lograr un ahorro significativo para la flota de 53.312 soles, debido a la extensión de la vida útil de los inyectores de combustible (por la reducción de los niveles de emisión de hollín) con respecto al periodo del pre-test, tal como se puede ver en la tabla 40.

## CAPÍTULO VI.

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1. Análisis descriptivo

##### 6.1.1. Variable dependiente: Eficiencia de la flota de buses

##### 6.1.1.1. Dimensión 1: Rendimiento del combustible

Se calculó el rendimiento del combustible después de la implementación del plan de mantenimiento preventivo (PMP) a los 14 buses Volvo comparándolo con el periodo pre-test (enero – diciembre 2018); logrando obtener resultados favorables, tal como se evidencia en la figura 30.

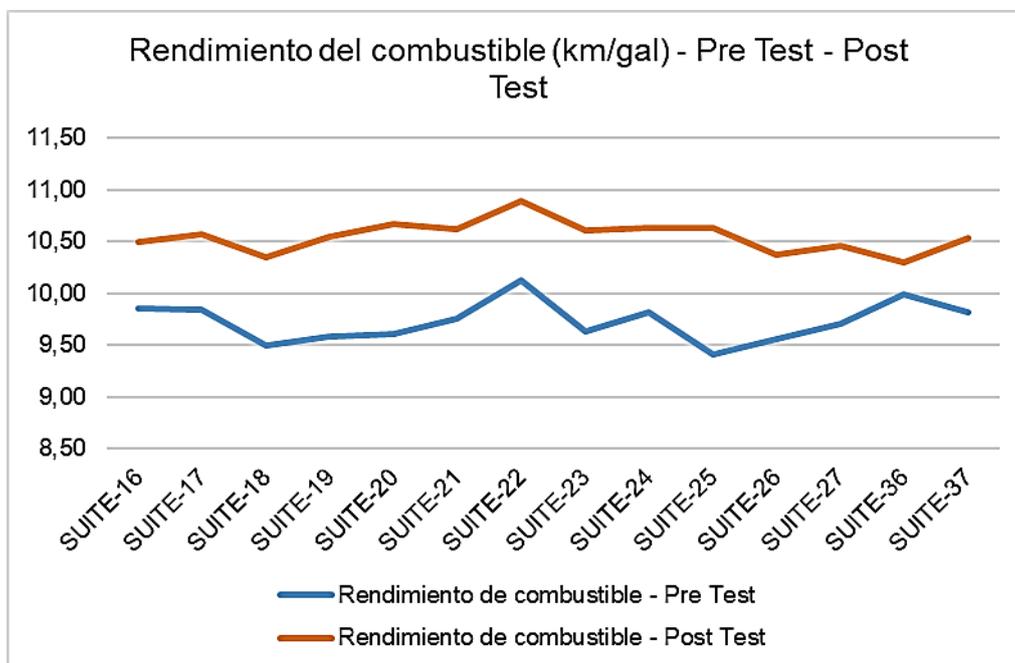


Figura 30. Rendimiento del combustible (km/gal) – Pre Test y Post Test.

Como se observa en la figura 30, el rendimiento del combustible antes de la mejora presentaba un rango de 9,41 a 10,12 km/gal; en cambio, después de la mejora, este rango varió de 10,30 a 10,89 km/gal, por lo que se observa un aumento significativo en este indicador.

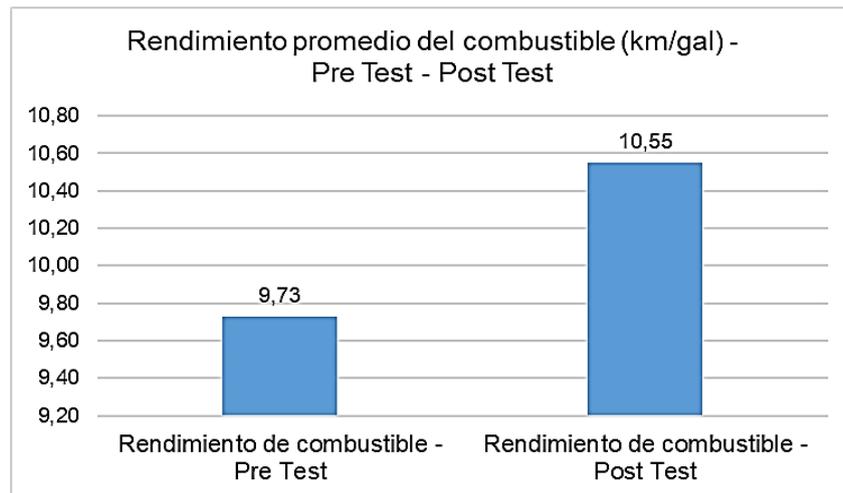


Figura 31. Comparación del rendimiento promedio del combustible– antes y después de la mejora.

Se observa que el rendimiento del combustible en el periodo enero – diciembre 2018 fue de 9,73 km/gal; no obstante, al implementar el nuevo PMP y sus controles, en el periodo marzo 2019 – febrero 2020, se obtuvo, en promedio, 10,55 km/gal; esto es, se evidenció un incremento significativo de 8,43%, en comparación al periodo anterior.

#### 6.1.1.2. Dimensión 2: Disponibilidad

Se calculó la disponibilidad después de la implementación del PMP a los 14 buses Volvo comparándola con el periodo anterior (enero – diciembre 2018); lográndose obtener resultados favorables, tal como se comprueba en la figura 32.

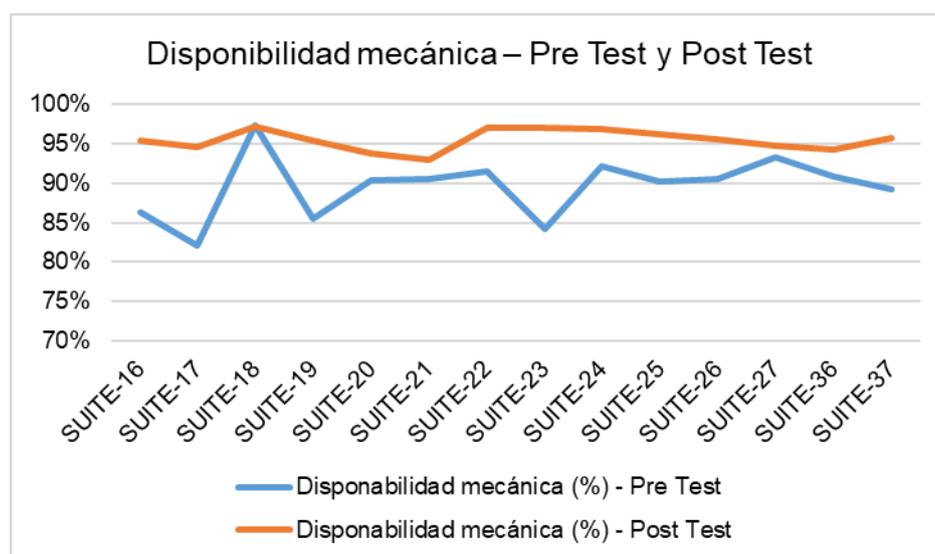


Figura 32. Disponibilidad mecánica – Pre Test y Post Test

Tal como se observa en la figura 32, la disponibilidad mecánica antes de la mejora presentaba un rango de 82,15% a 97,35%; en cambio, después de la mejora, este rango varió de 93,0% a 97,2%, por lo que se observa una mejora significativa en este indicador.

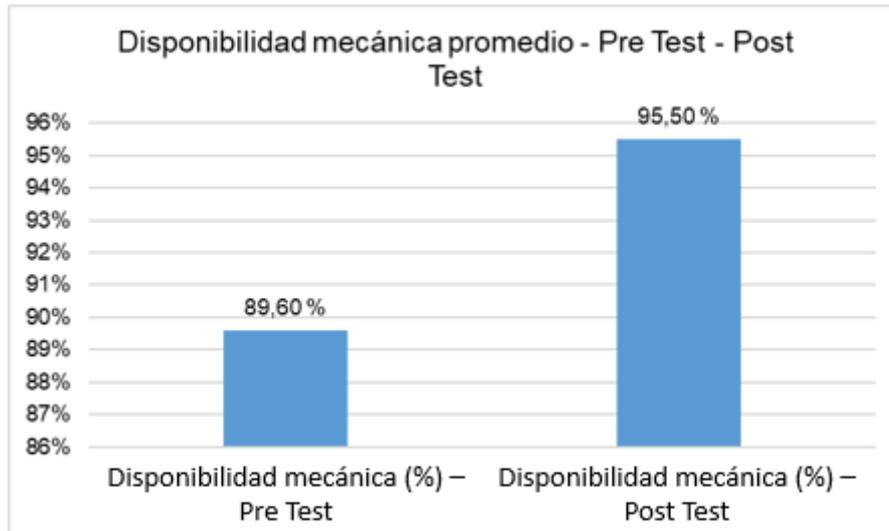


Figura 33. Comparación de la disponibilidad mecánica promedio – antes y después del PMP.

Se observa que la disponibilidad mecánica promedio en el periodo enero – diciembre 2018 fue de 89,60%; no obstante, al implementar el nuevo PMP y sus controles, en el periodo marzo 2019 – febrero 2020, se obtuvo en promedio 95,50%; esto es, se evidenció un incremento significativo del 5,90% en comparación al periodo anterior.

### 6.1.1.3. Dimensión 3: Niveles de hollín en el aceite lubricante

Se calculó los niveles de hollín en el aceite lubricante después de la implementación del PMP en los 14 buses Volvo, comparándolos con el periodo anterior (enero – diciembre 2018), logrando obtener resultados favorables, tal como se evidencia en la figura 34.

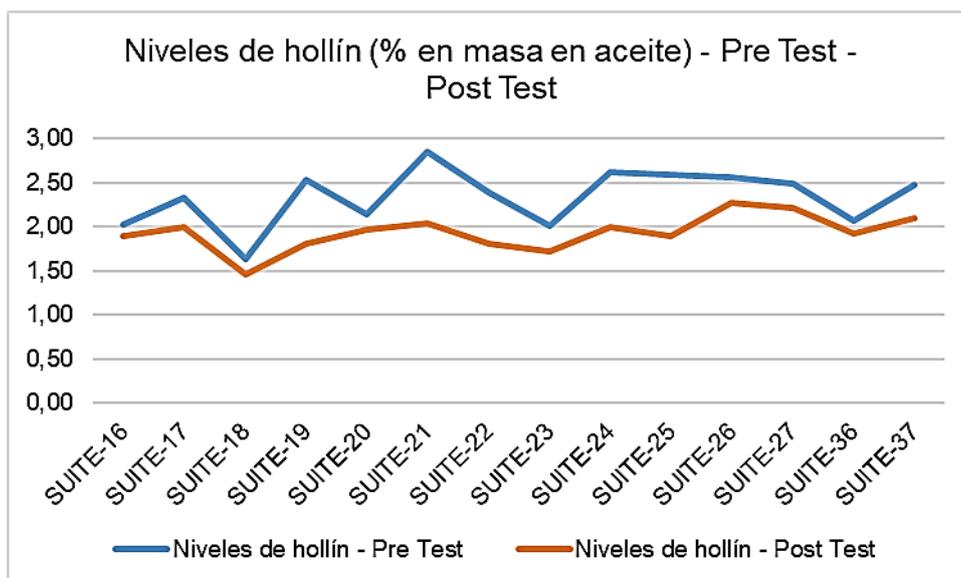


Figura 34. Niveles de hollín en el aceite lubricante – Pre Test y Post Test

Tal como se observa en la figura 34, los niveles de hollín en el aceite antes de la mejora presentaban un rango de 1,64 a 2,85 % en masa en el aceite lubricante; en cambio, después de la mejora, este rango varió a 1,46 a 2,27 % en masa en el aceite lubricante, por lo que se observa una disminución significativa en este indicador.

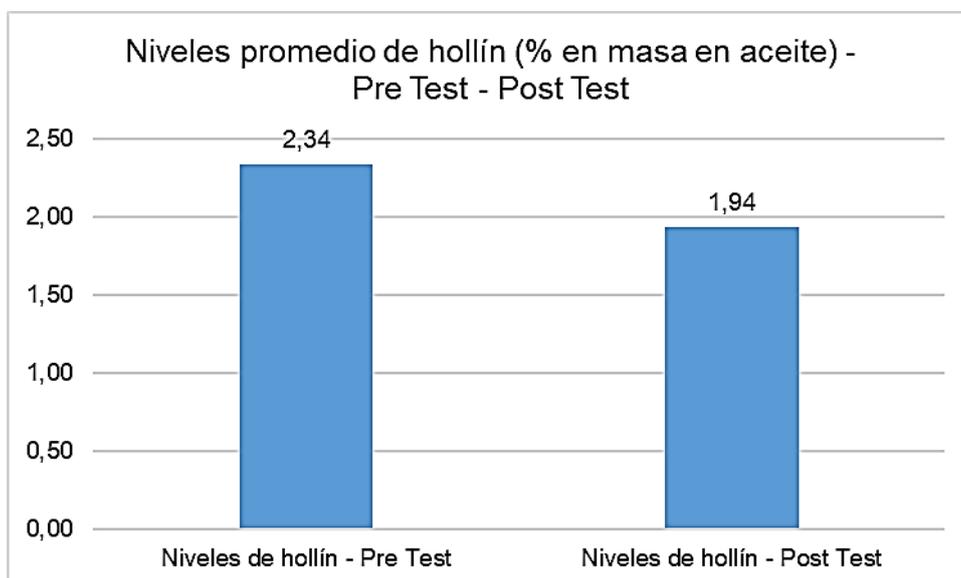


Figura 35. Comparación de los niveles promedio de hollín– antes y después de la mejora

Se observa que los niveles promedios de hollín en el aceite lubricante en el periodo enero – diciembre 2018 fue de 2,34 % en masa en el aceite lubricante, no obstante, al implementar el nuevo PMP y sus controles, en el periodo marzo

2019 – febrero 2020, se obtuvo en promedio 1,94 % en masa en el aceite lubricante; esto es, se evidenció una reducción significativa del 17% en comparación al periodo anterior.

## **6.2. Análisis estadístico inferencial**

### **6.2.1. Prueba de normalidad y normalización de datos**

Para seleccionar la prueba estadística, la cual será empleada para contrastar las hipótesis formuladas, primero se requiere someter a los datos a una prueba de bondad de ajuste. Esta prueba determina el tipo de distribución que siguen nuestros datos y, por ende, qué pruebas paramétricas se pueden o no realizar en el contraste estadístico (Romero, 2016).

En esta investigación se consideró el test Shapiro – Wilk para determinar si una muestra aleatoria, deriva de una distribución normal, cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50 (Romero, 2016). En el test se compara la media y la varianza de los datos de la muestra con los valores esperados para una distribución normal. Se considera uno de los mejores métodos numéricos de comprobación de la normalidad debido a su elevada potencia estadística.

En ese sentido, con el propósito de realizar la determinación de la normalidad de los datos, se plantean las siguientes hipótesis:

$H_0$ = Datos se aproximan a la distribución normal

$H_1$ = Datos no se aproximan a la distribución normal

#### **Regla de decisión:**

Primeramente, se define el valor p (o p-valor). Este valor de probabilidad es una medición estadística que varía entre 0 a 1, y es calculado a partir de una prueba estadística, que determina la probabilidad de que haya encontrado un conjunto particular de observaciones si la hipótesis nula fuera cierta (Bevans, 2022).

Los valores de p se utilizan en las pruebas de hipótesis para ayudar a decidir si se rechaza la hipótesis nula. Cuanto menor sea el valor de p, más probable es que rechace la hipótesis nula (Bevans, 2022). En otras palabras, el valor de p se refiere a la probabilidad de que los datos provengan de una distribución normal.

En base a lo señalado, se define la siguiente regla de decisión:

Se establece que el nivel de significancia es:  $\alpha$ : ( $0 < \alpha < 1$ ); donde  $\alpha = 0,05$

Decisión:

Si p-valor  $> 0,05$ , se acepta  $H_0$  (hipótesis nula)  $\rightarrow$  distribución normal

Si p-valor  $< 0,05$ , se rechaza  $H_0$  (hipótesis nula)  $\rightarrow$  distribución no normal

#### 6.2.1.1. Normalidad de la dimensión rendimiento del combustible

Tabla 41. Prueba de normalidad del rendimiento del combustible con el test de Shapiro – Wilk.

Test de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Diferencia	0,945	14	0,490

De la tabla 41, se infiere que los datos presentan una distribución normal, pues el p-valor (significancia de p) es mayor a  $\alpha$  ( $0,490 > 0,05$ ), para el rendimiento del combustible. En consecuencia, en este estudio, se utilizó las pruebas paramétricas para contrastar las hipótesis.

#### 6.2.1.2. Normalidad de la dimensión disponibilidad mecánica

Tabla 42. Prueba de normalidad de la disponibilidad mecánica con el test de Shapiro – Wilk.

Test de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Diferencia	0,946	14	0,496

De la tabla 42, se deduce que los datos presentan una distribución normal, ya que el p-valor (significancia de p) es mayor a  $\alpha$  ( $0,496 > 0,05$ ), para la disponibilidad mecánica. Por lo cual, en el presente estudio, se utilizó las pruebas paramétricas para contrastar las hipótesis.

### 6.2.1.3. Normalidad de la dimensión niveles de hollín en el aceite lubricante

Tabla 43. Prueba de normalidad de los niveles de hollín en el aceite lubricante con el test de Shapiro – Wilk.

	Test de Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Grados de libertad	Significancia
Diferencia	0,896	14	0,098

De la tabla 43, se interpretó que los datos presentan una distribución normal, pues el p-valor (significancia de p) es mayor a  $\alpha$  ( $0,098 > 0,05$ ), para los niveles de hollín. Por ello en el presente estudio, se utilizó las pruebas paramétricas para contrastar las hipótesis.

### 6.2.2. Prueba de la hipótesis específica 1

$H_{0\text{rendimiento}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo no mejora significativamente el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

$H_{1\text{rendimiento}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$

Regla de decisión:

Sí  $p \leq 0,05$ , se rechaza  $H_{0\text{rendimiento}}$

Sí  $p > 0,05$ , se acepta  $H_{0\text{rendimiento}}$

Tabla 44. Prueba de t de Student para el rendimiento del combustible

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Significancia (bilateral)
				Inferior	Superior			
Par 1 Rendimiento de combustible Pre Test – Post Test	-0,82286	0,21149	0,05652	-0,94497	-0,70074	-14,558	13	0,00

\* gl – grados de libertad

De acuerdo con la tabla 44, se observa una media de -0,82286, una desviación estándar de 0,21149, un valor de t de -14,558 (es menor al t teórico=-1,708 a un nivel de confianza del 95%),  $gl = 13$  grados de libertad (número de muestra - 1) y un nivel de significancia (p-valor) de 0,00, siendo menor al 0,05 ( $\alpha$ ), por lo tanto, la implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente el rendimiento del combustible de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial. Por regla de decisión ( $p \leq 0,05$ ), a la luz de los datos y tras el resultado obtenido a través del contraste realizado de la hipótesis, se dispone de evidencia suficiente para poder rechazar la hipótesis nula.

Como observamos, el  $p = 0,00$ , siendo p-valor menor a  $\alpha$ , por lo que podemos afirmar que sí hay diferencias significativas entre el rendimiento de combustible antes y después de la aplicación del PMP, de esta forma se comprueba que el rendimiento del combustible ha mejorado. En resumen, con un nivel de confianza del 95% rechazamos la  $H_{0\text{rendimiento}}$  y aceptamos la  $H_{1\text{rendimiento}}$ .

### **6.2.3. Prueba de la hipótesis específica 2**

$H_{0\text{disponibilidad}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo no mejora significativamente la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

$H_{1\text{disponibilidad}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$

Regla de decisión:

Sí  $p \leq 0,05$ , se rechaza  $H_{0\text{disponibilidad}}$

Sí  $p > 0,05$ , se acepta  $H_{0\text{disponibilidad}}$

Tabla 45. Prueba de t de Student para la disponibilidad mecánica.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas				t	gl	Significancia (bilateral)	
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 2	Disponibilidad mecánica Pre Test – Post Test	-0,05895	0,03953	0,01056	-0,08177	-0,03613	-5,580	13	0,00

\* gl – grados de libertad

De acuerdo con la tabla 45, se observa una media de -0,5895, una desviación estándar de 0,03953, un valor de t de -5,580 (es menor al t teórico=-1,708 a un nivel de confianza del 95%), gl = 13 grados de libertad (número de muestra – 1) y un nivel de significancia (p-valor) de 0.00, siendo menor al 0,05 ( $\alpha$ ), por lo tanto, la implementación del plan de mantenimiento preventivo mejora significativamente la disponibilidad de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial. En consecuencia, por regla de decisión ( $p \leq 0,05$ ), la referencia de los datos y tras el resultado obtenido a través del contraste realizado de la hipótesis, se tiene evidencia suficiente para poder rechazar la hipótesis nula.

Como también se obtiene el  $p = 0,00$ , siendo p-valor menor a  $\alpha$ , podemos afirmar entonces que, sí hay diferencias significativas entre la disponibilidad antes y después de la aplicación del PMP, de esta forma se comprueba que la disponibilidad ha mejorado. En consecuencia, con un nivel de confianza del 95% rechazamos la  $H_0$  disponibilidad y aceptamos la  $H_1$  disponibilidad.

#### 6.2.4. Prueba de la hipótesis específica 3

$H_{0\text{hollín}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo no reduce significativamente los niveles de hollín de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

$H_{1\text{hollín}}$ : La implementación del plan de mantenimiento preventivo reduce significativamente los niveles de hollín en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial.

Nivel de significancia:  $\alpha = 0,05$

Regla de decisión:

Sí  $p \leq 0,05$ , se rechaza  $H_{0\text{hollín}}$

Sí  $p > 0,05$ , se acepta  $H_{0\text{hollín}}$

Tabla 46. Prueba de t de Student para los niveles de hollín en el aceite lubricante

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Significancia (bilateral)	
				Inferior	Superior				
Par 3 Niveles de hollín Pre Test	0,40143	0,23826	0,06368	0,26386	0,53899	6,304	13	0,00	
Post Test									

\* gl – grados de libertad

En referencia a la tabla 46, se observa una media de 0,40143, una desviación estándar de 0,23826, un valor de t de 6,304 (es menor al t teórico=-1,708 a un nivel de confianza del 95%), gl = 13 grados de libertad (número de muestra – 1) y un nivel de significancia (p-valor) de 0,00, siendo menor al 0,05 ( $\alpha$ ), por lo tanto, la implementación del plan de mantenimiento preventivo reduce significativamente los niveles de hollín en el aceite lubricante de una flota de buses en una empresa de transporte interprovincial. Adicionalmente, por regla de decisión ( $p \leq 0,05$ ), con los datos y posterior al resultado obtenido a través del contraste realizado de hipótesis, se cuenta con evidencia suficiente para poder rechazar la hipótesis nula.

Como se ve, para esta tercera dimensión, el  $p = 0,00$ , siendo p-valor menor a  $\alpha$ , podemos afirmar entonces que sí existen diferencias significativas entre los niveles de hollín en el aceite lubricante, antes y después de la aplicación del PMP, de esta forma se comprueba que los niveles de hollín han disminuido. Finalmente, con un nivel de confianza del 95% rechazamos la  $H_{0\text{hollín}}$  y aceptamos la  $H_{1\text{hollín}}$ .

En resumen, posterior al análisis inferencial para las 3 dimensiones definidas de la eficiencia de la flota de buses en el presente estudio, se concluyó que existen diferencias significativas entre el pre y post test luego de implementar el PMP.

### 6.3. Discusión de resultados

En general, el mantenimiento preventivo se ejecuta para poder disminuir la probabilidad de fallas en cualquier equipo o máquina. Esto se lleva a cabo de manera planificada y se ejecuta aun cuando el mismo equipo esté en adecuadas condiciones, antes de que suceda una falla. Por eso, el propósito de este mantenimiento es reconocer anticipadamente cualquier señal de una falla potencial y así aminorar el riesgo de averías no planificadas y reducir la cantidad de mantenimientos correctivos. Hay que destacar que existe una relación inversa entre el mantenimiento preventivo con el correctivo, es decir, mientras más se pueda invertir en el mantenimiento preventivo, menos se invertirá en el mantenimiento correctivo, y se tendrá que identificar un punto de equilibrio entre estos 2 tipos de mantenimiento. Bajo este enfoque es necesario efectuar un mantenimiento preventivo de manera periódica a los activos, dependiendo de la frecuencia de uso y poder lograr un correcto desempeño de éstos.

En correspondencia al objetivo específico 1 de esta tesis, se comprobó y demostró que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejoró el rendimiento del combustible de 9,73 km/gal (en el período pre-test) a 10,55 km/gal (en el período post-test), evidenciando un aumento de 8,43%, en comparación al periodo anterior. Esto fue corroborado con la prueba t de Student que arrojó un nivel de significancia de 0,00, siendo menor al error aceptado (5%), rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa. A diferencia de este estudio, Gómez (2021), estableció un plan de mantenimiento centrado en kilómetros o en tiempo para ejecutar las diferentes tareas de mantenimiento preventivo, además se determinaron los diferentes elementos sugeridos para el uso de los vehículos, tales como los aceites, refrigerantes, lubricantes, neumáticos y baterías. A diferencia de esa investigación, en esta tesis se ha cuantificado el rendimiento del combustible en km/gal, llegando a la conclusión, que este indicador permite a la empresa reducir los gastos en combustible, dándole la posibilidad de que invierta en otras actividades complementarias como optimizar procesos. Con respecto al objetivo específico 2 de esta tesis, se comprobó y demostró que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo mejoró la disponibilidad promedio de la flota de buses de 89,6% (en el período pre-test) a 95,5% (en el período post-test), evidenciando un aumento

del 5,9%, en comparación al periodo anterior. Esto fue corroborado con la prueba t de Student que arrojó un nivel de significancia de 0,00, siendo menor al error aceptado (5%), rechazando por lo tanto la hipótesis nula y aceptando la alternativa. Este resultado es similar a lo conseguido por Zavaleta (2021), quien aplicó un plan de mantenimiento preventivo para motores Mercedes Benz para mejorar su disponibilidad, pero a diferencia de esta tesis, él se basó en la evaluación del aceite para la empresa Nuevo California, obteniendo que la disponibilidad mejore en un 4,47% gracias a las acciones de mantenimiento apropiadas detalladas en las hojas de decisión durante 6 meses. Equiparando los resultados de ambas tesis, se puede establecer que en esta investigación la variación porcentual fue mayor al estudio referenciado.

Con relación al objetivo específico 3, se comprobó que la implementación del plan de mantenimiento preventivo propuesto redujo los niveles de hollín en el aceite lubricante de la flota de buses de 2,34% (en el período pre-test) a 1,94% en masa en aceite, evidenciando una disminución del 17% en comparación al periodo anterior. Esto fue corroborado con la prueba t de Student que arrojó un nivel de significancia de 0,00, siendo menor al error aceptado (5%), rechazando la hipótesis nula y aceptando la alternativa. Estos resultados están en concordancia a lo conseguido por Rosales (2018), que para controlar los niveles de emisión de hollín en motores ACERT CAT en operación a altitudes mayores a 2286 m s. n. m., usó controles operacionales y de mantenimiento predictivo para que la concentración no supere el límite máximo permisible y, para complementar esto, aplicó un control del intervalo de aceite de motor para evaluar el nivel de desgaste de los elementos internos del motor. En esa investigación, así como en esta tesis, se usó este criterio para evaluar la eficiencia. Tal como indica Rosales (2018), si el contenido de hollín sobrepasa los límites máximos permisibles, el aceite del motor no podrá mantenerlos en suspensión, causando que se junten y generen un desgaste acelerado a los elementos internos del motor. De esta manera, al monitorizar los niveles de hollín se controló el grado de degradación del aceite.

## CONCLUSIONES

- Se comprobó y demostró que para las tres dimensiones (rendimiento del combustible, disponibilidad mecánica y niveles de hollín en el aceite lubricante) definidas para la eficiencia de la flota, se logró obtener mejoras significativas. Esto representó un ahorro anual total (considerando las 3 dimensiones en estudio) de 137.318 soles en la operación de la flota de los 14 buses seleccionados (3,8% respecto a los costos del periodo del pre-test). Lo anterior sustenta que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo permitió cumplir con los objetivos planteados.
- Utilizando el plan de mantenimiento preventivo propuesto se logró mejorar la eficiencia de la flota de buses en relación con la dimensión definida como el rendimiento del combustible en un 8,4% (respecto al pre-test), equivalente a 54.170 soles al año. Las actividades de mayor relevancia fueron la calibración de válvulas y el cumplimiento de las actividades programadas de mantenimiento.
- Empleando el plan de mantenimiento preventivo propuesto se logró mejorar la eficiencia de la flota de buses en relación con la dimensión definida como la disponibilidad mecánica en un 6,6% (respecto al pre-test), equivalente a 29.836 soles al año. Para esta dimensión, se consideró una estrategia que permitió gestionar mejor los recursos con los cuales se contaban. Las capacitaciones del personal, actualización de procedimientos, supervisión de actividades y reconocimiento de eficiencia del personal fueron fundamentales para mejorar el principal indicador de gestión de mantenimiento que es la disponibilidad mecánica de la flota.
- Llevando a cabo el plan de mantenimiento preventivo propuesto se logró mejorar la vida útil de los inyectores de combustible de los motores de la flota de buses en relación con los niveles de hollín en el aceite lubricante un 17,1% (respecto al pre-test) equivalente a un ahorro de 53.312 soles al año, debido a la extensión del período de cambio de los inyectores de combustible. En esta dimensión se consideró los análisis de aceite como la herramienta del mantenimiento predictivo

para poder extender la vida útil de los inyectores de los motores, lo cual no generó un costo adicional, ya que fue parte el servicio de post-venta del representante de buses Volvo.

## RECOMENDACIONES

- Para poder definir las variables independiente y dependiente se recomienda que la información de ambas sea exportada de softwares especializados en gestión de mantenimiento tales como IBM Máximo, Oracle ERP o SAP PM; ya que en estos se tiene la información clasificada y con mayor representatividad, con esto poder realizar un mejor contraste para la selección de las variables para una investigación.
- En relación a la medición del rendimiento del combustible como variable de estudio es recomendable realizar el análisis con el soporte de un dispositivo para lectura de telemetría, ya que su sistema de reportes de informes de datos considera la cantidad de combustible que se inyecta al motor; así mismo, permite complementar con parámetros tales como kilometraje de la unidad, RPM, velocidad, aceleración, frenadas bruscas; estos parámetros al poder utilizarlo estratégicamente permitirá plantear mejores estrategias de investigación.
- Al considerar la disponibilidad mecánica como variable de estudio se recomienda poder utilizar la metodología de “Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)”; ya que ello nos permitirá poder clasificar las averías de forma más específica para poder evaluar de mejorar forma las propuestas de solución.
- Para el estudio de los niveles de hollín se recomienda poder complementarlo con las emisiones a la salida del tubo de escape de un vehículo; ya que ello permitirá poder medir el impacto ambiental como consecuencia de las actividades de gestión de mantenimiento de una flota.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alavedra-Flores, C., Gastelu-Pinedo, Y., Méndez-Orellana, G., Minaya-Luna, C., Pineda-Ocas, B., Prieto-Gilio, K., Ríos-Mejía, K., & Moreno-Rojo, C. (2016). Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013. *Ingeniería Industrial*, 34, 11–26. [https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria\\_industrial/article/view/529/1354](https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/529/1354)

Alcantar, R., Trevino, F., & Martinez, J. (2021). Modelo estadístico que permite observar el impacto de los factores que inciden en el rendimiento de combustible. *Nova Scientia*, 7(14), 236–253. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052015000200236&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-07052015000200236&script=sci_abstract)

Alfonso, D. (2018). Emisiones de material particulado de los vehículos en bogotá. estrategias de gestión ambiental para su mitigación [Pontificia Universidad Javeriana]. [https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38114/Anexos\\_Finales.zip?sequence=4&isAllowed=y](https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/38114/Anexos_Finales.zip?sequence=4&isAllowed=y)

Aquino, W., & Atalaya, S. (2020). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de equipos de la empresa Globaltruck E.I.R.L- 2018-2019 [Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26312/Aquino\\_Manya\\_Wilder\\_Atalaya\\_Castrejon\\_Steve.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/26312/Aquino_Manya_Wilder_Atalaya_Castrejon_Steve.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Área Tecnología. (n.d.). Sistema de frenos. Área Tecnología. <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/sistema-de-frenos.html>

Barros, O. (2015). La planificación estratégica como herramienta mantenimiento preventiva y predictiva para la disminución de la accidentabilidad [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8940/1/UPS-CT005197.pdf>

Bevans, R. (2022). Understanding P-values | Definition and Examples. Scribbr. <https://www.scribbr.com/statistics/p-value/>

Botero, C. (1993). Manual de mantenimiento. Parte I: ¿qué es el mantenimiento? *Informador Técnico*, 47, 35–37. <https://doi.org/DOI:10.23850/22565035.1188>

Cansino, E., & Lucero, D. (2015). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fábrica Minerosa [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10469/1/CD-6192.pdf>

Caro, J., & Rubio, L. (2019). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos de un club de esparcimiento [Universidad Ricardo Palma]. [https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2693/IND\\_T030\\_75549338\\_T\\_RUBIO\\_CHAVEZ\\_LESLIE\\_LIZETH.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/2693/IND_T030_75549338_T_RUBIO_CHAVEZ_LESLIE_LIZETH.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Castellón, Lady. (2018). Plan de mantenimiento preventivo para las máquinas productoras de helado de la fábrica Belén de la ciudad de Estelí, realizado en el II semestre de 2017 [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/8948/1/18878.pdf>

Castillo, R., Prieto, A., & Zambrano, E. (2013). Elementos de la gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *Negotium*, 9(25), 55–85. <https://www.redalyc.org/pdf/782/78228410004.pdf>

Cómo funciona. (2022a). Sistema de dirección. ComoFunciona. <https://comofunciona.co/sistema-de-direccion/>

Cómo funciona. (2022b). Cómo funciona un sistema de frenos. Cómo Funciona. <https://comofunciona.co/un-sistema-de-frenos/>

Consuegra, S. (2007). Módulo motores diesel. <https://www.itsa.edu.co/docs/17-S-Consuegra-Modulo-Motores-Diesel.pdf>

Curo, J. (2018). Aplicación del mantenimiento preventivo para mejorar la productividad en la línea de producción de pilas modelo UM3 en la empresa Panasonic Peruana S.A., Independencia - Lima - 2018 [Universidad César Vallejo]. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36343/Curo\\_CJL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36343/Curo_CJL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dagnino, J. (2014). Tipos de estudios. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 104–108. <https://revistachilenadeanestesia.cl/tipos-de-estudios/>

Echeverri, C., & Maya, G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de medellín. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 7(12), 23–42. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242008000100003#:~:text=La relación \(PM2.,5](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242008000100003#:~:text=La relación (PM2.,5)

El Comercio. (2021). ¿Cómo ha evolucionado el precio de los combustibles en Lima y el Perú? El Comercio. <https://elcomercio.pe/economia/gasolina-como-ha-evolucionado-el-precio-de-los-combustibles-en-lima-y-el-peru-gasohol-diesel-gas-incremento-estaciones-grifos-glp-noticia/>

Escobar, Á. (2021). ¿Qué es la culata del motor de un coche y para qué sirve? Carnovo. <https://carnovo.com/es/guias/culata-motor/>

Euromaster (2021). La importancia de la suspensión neumática en los camiones. *Mantenimiento de vehículo*. <https://www.euromaster-neumaticos.es/blog/suspension-neumatico-camiones>

Fernández, E. (2018). Gestión de Mantenimiento: Lean Maintenance y TPM [Universidad de Oviedo]. [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n de Mantenimiento. Lean Maintenance y TPM.pdf;jsessionid=566ED6C069A82AEBC3CDB6A8B648C9C9?sequence=1](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf;jsessionid=566ED6C069A82AEBC3CDB6A8B648C9C9?sequence=1)

Fernández, Y. (2020). Análisis de consumo de combustible de vehiculos de carga al aplicar técnicas de conducción eficiente [Universidad Antonio Nariño]. <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2806/2/2020YennyAndreaFernandezRomero.pdf>

Flexfuel. (2021). El sistema de transmisión. Flexfuel. <https://www.flexfuel-company.es/el-sistema-de-transmision/>

Gómez, J. (2021). Plan de mantenimiento preventivo para la flota vehicular de la

empresa transportes Sotrance S.A.S [Universidad Autónoma de Occidente]. [https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13306/T09949\\_Plan de mantenimiento preventivo para la flota vehicular de la empresa Transportes Sotrance S.A.S.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/13306/T09949_Plan_de_mantenimiento_preventivo_para_la_flota_vehicular_de_la_empresa_Transportes_Sotrance_S.A.S.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de Investigación (M. Hill (ed.); Sexta edic). <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Illanes, J. (2019). Plan de mantenimiento basado en análisis de aceite orientado al mejoramiento de la disponibilidad operativa de los buses de transporte masivo “Waynabus” de la ciudad de El Alto. Universidad Mayor de San Andres. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/28670>

Jabo, A. G. A. G. A., & Midhat, V. (2021). Used Oil Analysis for Internal Combustion Engine Condition Monitoring. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(9), 10–16. [https://www.researchgate.net/publication/352379576\\_USED\\_OIL\\_ANALYSIS\\_FOR\\_INTERNAL\\_COMBUSTION\\_ENGINE\\_CONDITION\\_MONITORING](https://www.researchgate.net/publication/352379576_USED_OIL_ANALYSIS_FOR_INTERNAL_COMBUSTION_ENGINE_CONDITION_MONITORING)

Jarro, H. (2017). Plan de gestión de mantenimiento de una flota de buses interprovincial de la Cooperativa Turismo Oriental. Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6905>

Leal, S., & Zambrano, S. (2006). Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira. [https://www.academia.edu/5129843/Índices\\_e\\_Indicadores\\_de\\_Gestión\\_de\\_Manutenimiento\\_en\\_las\\_Pymes\\_del\\_Estado\\_Táchira](https://www.academia.edu/5129843/Índices_e_Indicadores_de_Gestión_de_Manutenimiento_en_las_Pymes_del_Estado_Táchira)

López, D. (2021). El bloque motor: qué es, de qué está hecho, partes, tipos, fabricación. *Actualidad Motor*. <https://www.actualidadmotor.com/el-bloque-motor-y-la-culata/>

López, J., Trinchet, C., & Pérez, R. (2021). Procedimiento para evaluar el mantenimiento en una flota de transporte de combustibles por carretera. *Ingeniería Mecánica*, 24(1), 1–14. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225169340001>

Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciaAmérica*, 3, 34–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749#:~:text=La investigaci3n aplicada busca la,la teor3a y el producto>

Matschulat, D., Prestel, H., Haider, F., Niessner, R., & Knopp, D. (2006). Immunization with soot from a non-combustion process provokes formation of antibodies against polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Immunol Methods*, 310(1–2), 159–170. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16499922/>

Mesa, D., Ortiz, Y., & Pinz3n, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, 12(30), 155–160. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491036.pdf>

MINAM. (2018). Emisiones de veh3culos generan holl3n en la atm3sfera de Lima y Callao, seg3n SENAMHI. Sistema Nacional de Informaci3n Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/novedades/emisiones-vehiculos-generan-hollin->

atmosfera-lima-callao-segun-senamhi

MINSA. (2010). Guías y normas de calidad del aire en exteriores. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/GuiaAire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/GuiaAire.pdf)

Mobley, R. (2004). Maintenance Fundamentals (Elsevier Butterworth–Heinemann (ed.); 2do Edició). <http://dl.mperia.ir/e-books/09-%5BKeith-Mobley%5DMaintenance-Fundamentals%5Bmperia.ir%5D.pdf>

NTE INEN 1668. (2015). Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial. Requisitos. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_1668-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_1668-1.pdf)

Nuñez, P. (2018). Gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de la flota de transporte de la empresa “Ángel Divino”- Chiclayo. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28565>

Paredes, F. (2019). Diplomatura de estudio en Mantenimiento y confiabilidad-Gestión de Mantenimiento. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://facultad.pucp.edu.pe/ingenieria/diplomatura/curso-de-especializacion-en-mantenimiento-y-confiabilidad/plan-de-estudios/>

Pascual, R. (2008). El Arte de Mantener. [https://www.academia.edu/44076869/El\\_Arte\\_de\\_Mantener](https://www.academia.edu/44076869/El_Arte_de_Mantener)

Pérez, F. (2021). Conceptos Generales en la Gestión del Mantenimiento Industrial (USTA (ed.); 1st ed.). Universidad Santo Tomás. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Perú21. (2018). Emisiones de vehículos causan gran cantidad de hollín en atmósfera de Lima y Callao. Perú21. <https://peru21.pe/lima/senamhi-emisiones-vehiculos-causan-gran-cantidad-hollin-atmosfera-lima-callao-nndc-430261-noticia/>

Portocarrero, R., & Rabanal, Y. (2019). Mantenimiento predictivo basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad de los remolcadores con motor Cummins ISX en una empresa de transporte de carga. Universidad Nacional del Callao. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5765>

PREMIER TECH. (2020). La importancia del mantenimiento preventivo. PREMIER TECH. <https://www.ptchronos.com/es-lat/blog/la-importancia-del-mantenimiento-preventivo>

Quijada, C. (2020). Reducción de consumo de combustible a través de análisis del desempeño de camiones 6x2. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6257>

Raposo, H., Torres, J., Fonseca, I., & Andrade, L. (2019). Contidion Monitoring With Prediction Based on Oil Engines of Urban Buses - a Case Study. Actuators, 8(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20944/preprints201811.0167.v1>

Ro-des. (n.d.). ¿Qué es el sistema de transmisión? Ro-Des. Sencillo de Principio a Fin. <https://www.ro-des.com/mecanica/que-es-el-sistema-de-transmision/>

Rodríguez, J. (2008). Gestión Del Mantenimiento. Introducción a la teoría del

mantenimiento. <https://es.scribd.com/doc/7497765/Gestion-del-mantenimiento>

Rojas, L., Engativá, L., & Ramírez, M. (2019). Análisis de Aceite un Enfoque Explicativo en Muestras Reales. *Engineering Journal ECCI*, 1(1), 34–49. <https://revistas.ecci.edu.co/index.php/eje/article/view/604>

Rojas, N., & Galvis, B. (2005). Relación entre PM2.5 y PM10 en la ciudad de Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 22, 54–60. <https://www.redalyc.org/pdf/1210/121014219005.pdf>

Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería Del Trabajo*, 6(3), 105–114. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>

Rosales, E. (2018). Control del nivel de hollín en operación mayor a 2286 m.s.n.m. en motores acert CAT [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4113/Rosales%20Rivera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salas, E. (2013). Diseños preexperimentales en psicología y educación: una revisión conceptual. *Liberabit*, 19(1), 133–141. <http://www.scielo.org.pe/pdf/liber/v19n1/a13v19n1.pdf>

Sanz, J. (2020a). Cómo conseguir la eficiencia operativa vehicular en una flota. *Blog Pulpo*. [https://blog.getpulpo.com/blog/cómo-conseguir-la-eficiencia-operativa-vehicular-en-una-flota#:~:text=Todo gestor de flotas es, tiempo de la manera adecuada.](https://blog.getpulpo.com/blog/cómo-conseguir-la-eficiencia-operativa-vehicular-en-una-flota#:~:text=Todo%20gestor%20de%20flotas%20es,%20tiempo%20de%20la%20manera%20adecuada.)

Sanz, J. (2020b). Cómo sacar el rendimiento de combustible en la gestión de una flota. *Pulpo*. <https://blog.getpulpo.com/blog/cómo-sacar-el-rendimiento-de-combustible-en-la-gestión-de-una-flota>

SLP. (n.d.). Cigüeñal. SLP. <https://slp.se/es/especificaciones/volvo/477116>

Stanmore, B., Brillhac, J., & Gilot, P. (2001). The oxidation of soot: a review of experiments, mechanisms and models. *Carbon*, 39(15), 2247–2268. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622301001099>

Villalobos, J. (2010). Eficiencia energética en el transporte de carga por carretera. In *Boletín FAL* (Vol. 281, Issue 1). [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36126/1/FAL-281-WEB\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36126/1/FAL-281-WEB_es.pdf)

Volvo Buses Colombia. (2023). Chasis del bus. Volvo Buses Colombia. <https://www.volvobuses.com/co/coaches/chassis.html>

Wei, C., Larson, S., Patten, K., & Wuebbles, D. (2001). Modeling of ozone reactions on aircraft-related soot in the upper troposphere and lower stratosphere. *Atmospheric Environment*, 35(35), 6167–6180. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231001004095>

Zambrano, E., Prieto, A., & Castillo, R. (2015). Indicadores de gestión de mantenimiento en las instituciones públicas de educación superior del municipio Cabimas. *TELOS. Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 17(3), 495–511. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99342682008>

Zavaleta, C. (2021). Plan de mantenimiento preventivo en los motores Mercedes Benz basado en análisis de aceite para mejorar la disponibilidad en los buses de la Empresa Nuevo California. Universidad César Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74438>

Zegarra, M. (2016). Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados. Ciencia y Desarrollo, 19(1), 25–37. <https://core.ac.uk/download/pdf/228575405.pdf>

## ANEXOS

## Anexo 1. Ficha técnica de buses Volvo utilizados en el estudio



## VOLVO B430R 6X2 Y 8X2 CARRETERA





**B430R 6x2**



**B430R 8x2**

- Computador abordo con diagnostico de fallas
- Arquitectura BEA2 (Bus Electrical Architecture)
- Suspensión con control electrónico
- Caja de cambios inteligente Volvo I-Shift
- VEB – Freno Motor Volvo Con 390 hp
- Motor electrónico Volvo D11A
- Sistema Volvo de frenos de disco EBSS EBS (Electronic Braking System) con ABS y control de tracción
- Sistema ESP (Electronic Stability Program) – optativo

**DIMENSIONES (mm)**
**NEUMÁTICOS 295/80R22,5**

**LONGITUDES**

Modelo	Normal Driver 6x2	Low Driver 6x2	Low Driver 8x2
Voladizo delantero	2.150	2.500	2.400
Distancia entre ejes para el transporte	4.000*	4.000*	2.600*
Distancia entre ejes de tracción y tercer eje	1.400	1.400	1.400
Voladizo trasero	2.670	2.670	2.670
Longitud total del chasis	10.570	10.470	10.470
Distancia entre ejes delanteros	-	-	1.400

\*Entre ejes para el transporte

**ANCHURAS**

Ancho total (ruedas delanteras)	2.476
Ancho total (ruedas traseras)	2.464
Vitola delantera	2.054
Vitola trasera	1.833

16.V01

VOLVO

**B430R 6X2 Y 8X2 CARRETERA**

Autobuses Volvo. Calidad de vida en el transporte

**MOTOR**

Volvo D11A, motor diesel, 10,8 litros, vertical, trasero, totalmente electrónico, con inyección de combustible a través de unidades de inyección independientes, 6 cilindros en línea, 4 válvulas por cilindro, árbol de levas en la culata, turboalimentado, intercooler, acelerador electrónico "by wire", sistema de diagnóstico de fallas, autoprotección contra sobrecalentamiento y baja presión de aceite. Nivel de emisiones según la reglamentación EURO III. Sensores de incendio en el motor.

Motor	Potencia	Torque
D11A430	316 kW 430(hp)	2000Nm 204kgfm

Potencia y par motor medidos según las normas NBR 5484, ISO 1585.

**FRENO VEB (Volvo Engine Brake)**

Compuesto por freno de compresión Volvo (VCB) y regulador de presión de los gases de escape (EPG). Potencia máxima de frenado 390 hp.

**TRASMISIÓN**

Caja electrónica automática I-SHIFT  
Modelo AT2612D, caja inteligente Volvo (la caja realiza el cambio de marchas automáticamente) con 12 marchas (hacia adelante) y 2 marchas (hacia atrás). Sin pedal de embrague.

Relaciones	
1ª marcha:	14,94:1
12ª marcha:	1,00:1

**EJE DE TRACCIÓN**

Eje RS1228C simple reducción. Relación de transmisión del eje: 2,64:1. Rodamientos de rueda libres de mantenimiento.

**DIRECCIÓN**

ZF8098, hidráulica integral, tipo esferas recirculantes. Volante con 450 mm de diámetro, ajustable en ángulo y altura.

**EJE DELANTERO**

Eje rígido en acero especial con perfil "L". Forjado y tratado térmicamente. Rodamientos de rueda libres de mantenimiento.

**SUSPENSIÓN**

Totalmente neumática con control electrónico, con cámaras de aire tipo fuelle (sistema electrónico ECS). Dos fuelles de aire en el eje delantero, cuatro en el eje trasero y dos en el tercer eje (cuatro para versión 8x2). Amortiguadores de doble acción. Barras estabilizadoras y de reacción. Ajuste de nivel para maniobras.

**SISTEMA DE FRENOS**

Sistema Volvo de frenos de disco en todos los ejes (EBS5- Electronic Braking System). Principales funciones del EBS5:

- ABS (Anti-lock Braking System - control contra deslizamiento)
- ASR (Acceleration Slip Regulation - control de tracción)
- Sensor de desgaste de las pastillas
- Autonomía de las pastillas
- Frenado con combinación inteligente (retardador\*/VEB + freno de servicio simultáneamente)
- Auxilio de frenado de emergencia
- Sistema de auxilio en arranque

\* Opcional

**ESP - Electronic Stability Program\***

Sistema electrónico de control de estabilidad que disminuye los riesgos de accidentes en situaciones de emergencia.

\* Opcional en 8x2

**EQUIPOS ELÉCTRICOS**

Equipado con sistema Volvo BEA2 (Bus Electronic Architecture), sistema electrónico Multiplex 2 - sistema digital de transmisión de datos con control de los sistemas de autobús, monitorización y coordinación de todos los dispositivos controlados por las unidades electrónicas. Multiplex 2 también proporciona diagnósticos de fallas y datos sobre la operación del vehículo. Posee las funciones de luces externas integradas al Multiplex del chasis. Llave general con corte de combustible.

Nº de baterías	2
Tensión	24 V
Baterías	2x225 Ah
Alternador	2x150 A

**TABLERO DE INSTRUMENTOS**

Computador abordo, tacómetro, manómetros de aire de los frenos, control de intensidad y tipo de iluminación del panel, velocímetro, tacógrafo electrónico diario (dos conductores), liberación del freno de estacionamiento, indicador del nivel de combustible, temperatura del refrigerante y presión en el turbocompresor. Indica funciones de la caja, marcha seleccionada, retardador y modo económico/potencia.

**COMPUTADOR A BORDO**

Funciones disponibles: diagnóstico de fallas, limitador de velocidad (información), limitador de rotación del motor (información), voltímetro, reloj, alarma, velocidad promedio, distancia y tiempo de viaje, medidor de consumo de combustible, identificador de flota, registros de datos del vehículo, temperatura de aceite del motor.

**LUCES DE ADVERTENCIA**

Luces de baja presión del aceite del motor, baja presión de aire del freno de servicio, sobrecalentamiento del sistema de enfriamiento, aviso de alta temperatura en el compartimiento del motor, funcionamiento del alternador, funcionamiento del ABS, bajo nivel del refrigerante del motor, obstrucción del filtro de aire, accionamiento del sistema de precalentamiento de partida (cuando instalado), nivel de aceite hidráulico, filtro de aceite hidráulico, falla en el ECS, baja presión de aire en la suspensión, bajo desempeño de los frenos, control de tracción.

**CAPACIDADE DE LOS EJES (kgf)**

	6x2	8x2
Eje delantero 1	7.500	6.000
Eje delantero 2	-	6.000
Eje de tracción	12.000	12.000
3º Eje	5.250*	5.250
Capacidad total	24.750	29.250

\*7000 para 3º eje direccional

**NEUMÁTICOS Y RUEDAS**

Neumáticos	Ruedas
295/80R22,5*	8,25" x 22,5"
315/80R22,5* (optativo)	9,00" x 22,5" (optativo)
385/65R22,5* (optativo)	11,75" x 22,5" (optativo)*

\*Sómente para frenos eno.

**CAPACIDADES\***

Aceite del motor	42 litros
Aceites de la caja de dirección	4 litros
Aceite de la caja AT2612D	16 litros
Aceite del diferencial	15 litros

\*Valores aproximados.

**OPCIONALES**

- Gerenciamento de flota
- Tacógrafo electrónico semanal
- Limitador de velocidad
- Ruedas de aluminio pulido
- Retardador Hidrodinámico Volvo
- Arrodillamiento de la suspensión
- Control de crucero
- Relaciones de eje 2,85:1 y 3,08:1
- Alcolímetro (Alcolock)
- 3º eje direccional (para low driver y normal driver)
- Selector de marchas tipo botón
- Posición del motorista normal

\*La foto es simplemente ilustrativa. Volvo de Brasil se reserva el derecho de alterar las especificaciones técnicas de los productos sin aviso previo.

## Anexo 2. Fichas de registro

FORMATO DE REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA CÁLCULO DE RENDIMIENTO DE COMBUSTIBLE (km/gal)						
N°	FECHA	CÓDIGO DE LA UNIDAD	SERVICIO	RUTA REALIZADA	KILOMETRAJE RECORRIDO	GALONES ABASTECIDOS
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

FORMATO DE REGISTRO DE INFORMACIÓN PARA CÁLCULO DE DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) - MENSUAL						
N°	MES	CÓDIGO DE LA UNIDAD	TOTAL DE HORAS DEL MES	HORAS INOPERATIVAS POR INSPECCIÓN DE RUTINA	HORAS INOPERATIVAS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO	HORAS INOPERATIVAS POR MANTENIMIENTO CORRECTIVO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						



### Anexo 3. Cómo realizar el test de Shapiro-Wilk en Excel

En la siguiente tabla se presenta la muestra de los datos de la dimensión correspondiente a la disponibilidad mecánica, en porcentaje, de los 14 buses en estudio para el pre-test. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk de comprobación de la normalidad para probar si los datos obtenidos de la muestra pueden modelarse utilizando una distribución normal.

	A	B
1	N°	DISPONIBILIDAD MECÁNICA
2	1	86,3
3	2	82,2
4	3	97,4
5	4	85,5
6	5	90,4
7	6	90,5
8	7	91,5
9	8	84,2
10	9	92,2
11	10	90,3
12	11	90,6
13	12	93,3
14	13	90,9
15	14	89,3
16		

Para iniciar el modelamiento, se selecciona los valores del conjunto de datos y se ordena los datos con la herramienta “Ordenar”: **Datos > Ordenar (Ordenar de menor a mayor)**



Esto ordenará los valores de la siguiente manera:

	A	B
1	Nº	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)
2	1	82,2
3	2	84,2
4	3	85,5
5	4	86,3
6	5	89,3
7	6	90,3
8	7	90,4
9	8	90,5
10	9	90,6
11	10	90,9
12	11	91,5
13	12	92,2
14	13	93,3
15	14	97,4
16		

Alternativamente, con las nuevas versiones de Excel, se puede utilizar la función ORDENAR para ordenar los datos: =ORDENAR(B2:B15)

A continuación, se calcula el denominador del estadístico  $W_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ , tal como se muestra en la imagen siguiente, utilizando la función PROMEDIO para calcular la media:

	A	B	C	J	K	L
1	Nº	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{x})^2$			
2	1	82,2	54,972			
3	2	84,2	29,314			
4	3	85,5	16,927			
5	4	86,3	10,984			
6	5	89,3	0,099			
7	6	90,3	0,470			
8	7	90,4	0,617			
9	8	90,5	0,784			
10	9	90,6	0,972			
11	10	90,9	1,653			
12	11	91,5	3,556			
13	12	92,2	6,686			
14	13	93,3	13,584			
15	14	97,4	60,617			
16			201,237			

Luego se calcula la suma (se muestra en la celda C16) utilizando la siguiente formula:  
 $=SUMA(C2:C15)$

Así, el denominador del estadístico W es 201,237.

A continuación, se obtienen los valores de  $a_i$ , los coeficientes de los pesos de la prueba de Shapiro-Wilk, para un tamaño de muestra de  $n=14$ , a partir de la tabla de la prueba. A continuación, se muestra un extracto de la tabla del test de Shapiro-Wilk:

n \ i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0.5601	0.5475	0.5359	0.5251	0.5150	0.5056	0.4968	0.4886	0.4808	0.4734
2	0.3315	0.3325	0.3325	0.3318	0.3306	0.3290	0.3273	0.3253	0.3232	0.3211
3	0.2260	0.2347	0.2412	0.2460	0.2495	0.2521	0.2540	0.2553	0.2561	0.2565
4	0.1429	0.1586	0.1707	0.1802	0.1878	0.1939	0.1988	0.2027	0.2059	0.2085
5	0.0695	0.0922	0.1099	0.1240	0.1353	0.1447	0.1524	0.1587	0.1641	0.1686
6	0.0000	0.0303	0.0539	0.0727	0.0880	0.1005	0.1109	0.1197	0.1271	0.1334
7	-	-	0.0000	0.0240	0.0433	0.0593	0.0725	0.0837	0.0932	0.1013
8	-	-	-	-	0.0000	0.0196	0.0359	0.0496	0.0612	0.0711
9	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0163	0.0303	0.0422
10	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0000	0.0140

Estos valores tendrán que ser introducidos de la siguiente manera (en la columna "D"):

	A	B	C	D
1	Nº	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{x})^2$	$a_i$
2	1	82,2	54,972	0,525
3	2	84,2	29,314	0,332
4	3	85,5	16,927	0,246
5	4	86,3	10,984	0,180
6	5	89,3	0,099	0,124
7	6	90,3	0,470	0,073
8	7	90,4	0,617	0,024
9	8	90,5	0,784	
10	9	90,6	0,972	
11	10	90,9	1,653	
12	11	91,5	3,556	
13	12	92,2	6,686	
14	13	93,3	13,584	
15	14	97,4	60,617	
16			201,237	

Y, utilizando la propiedad antisimétrica de  $a_i$ , es decir,  $a_{n+1-i} = -a_i$  para todo  $i$ , tenemos que  $a_{14} = -a_1$ ,  $a_{13} = -a_2$ . Por lo tanto, los valores completos de la columna  $a_i$  se muestran en la siguiente imagen:

	A	B	C	D
1	Nº	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{x})^2$	$a_i$
2	1	82,2	54,972	0,525
3	2	84,2	29,314	0,332
4	3	85,5	16,927	0,246
5	4	86,3	10,984	0,180
6	5	89,3	0,099	0,124
7	6	90,3	0,470	0,073
8	7	90,4	0,617	0,024
9	8	90,5	0,784	-0,024
10	9	90,6	0,972	-0,073
11	10	90,9	1,653	-0,124
12	11	91,5	3,556	-0,180
13	12	92,2	6,686	-0,246
14	13	93,3	13,584	-0,332
15	14	97,4	60,617	-0,525
16			201,237	

Debido a la propiedad antisimétrica de  $a_i$  y a que el numerador del estadístico  $W$  es un cuadrado, no importa qué mitad de la columna  $a_i$  es positiva o negativa. Es decir, se puede elegir que la mitad superior de la columna sea positiva y la mitad inferior negativa o viceversa y esto no afectará el resultado final.

A continuación, se multiplica los valores de  $a_i$  por los valores correspondientes (ya ordenados) en el conjunto de datos para obtener la columna  $a_i x_{(i)}$ . El cálculo y el valor para el primer punto de datos se muestran en la siguiente imagen:

E2					
✕ ✓ $f_x$ =D2*B2					
	A	B	C	D	E
1	N°	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{X})^2$	$a_i$	$a_i x_i$
2	1	82,2	54,972	0,525	43,163
3	2	84,2	29,314	0,332	
4	3	85,5	16,927	0,246	
5	4	86,3	10,984	0,180	
6	5	89,3	0,099	0,124	
7	6	90,3	0,470	0,073	
8	7	90,4	0,617	0,024	
9	8	90,5	0,784	-0,024	
10	9	90,6	0,972	-0,073	
11	10	90,9	1,653	-0,124	
12	11	91,5	3,556	-0,180	
13	12	92,2	6,686	-0,246	
14	13	93,3	13,584	-0,332	
15	14	97,4	60,617	-0,525	
16			201,237		

Se completa el resto de la columna  $a_i x_i$  y calcule la suma (mostrada en la celda E16), tal como se muestra en la imagen siguiente:

E16					
✕ ✓ $f_x$ =SUMA(E2:E15)					
	A	B	C	D	E
1	N°	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{X})^2$	$a_i$	$a_i x_i$
2	1	82,2	54,972	0,525	43,163
3	2	84,2	29,314	0,332	27,938
4	3	85,5	16,927	0,246	21,033
5	4	86,3	10,984	0,180	15,551
6	5	89,3	0,099	0,124	11,073
7	6	90,3	0,470	0,073	6,565
8	7	90,4	0,617	0,024	2,170
9	8	90,5	0,784	-0,024	-2,172
10	9	90,6	0,972	-0,073	-6,587
11	10	90,9	1,653	-0,124	-11,272
12	11	91,5	3,556	-0,180	-16,488
13	12	92,2	6,686	-0,246	-22,681
14	13	93,3	13,584	-0,332	-30,957
15	14	97,4	60,617	-0,525	-51,145
16			201,237		-13,809

El denominador del estadístico W obtenido anteriormente es 201,237, y el numerador es el cuadrado de la suma de la columna  $a_i x_i$ . Por lo tanto, tenemos lo siguiente:

H5								
=E16^2								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	N°	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{x})^2$	$a_i$	$a_i x_i$			
2	1	82,2	54,972	0,525	43,163			
3	2	84,2	29,314	0,332	27,938			
4	3	85,5	16,927	0,246	21,033			
5	4	86,3	10,984	0,180	15,551		W_numerador	190,682
6	5	89,3	0,099	0,124	11,073		W_denominador	201,237
7	6	90,3	0,470	0,073	6,565			
8	7	90,4	0,617	0,024	2,170			
9	8	90,5	0,784	-0,024	-2,172			
10	9	90,6	0,972	-0,073	-6,587			
11	10	90,9	1,653	-0,124	-11,272			
12	11	91,5	3,556	-0,180	-16,488			
13	12	92,2	6,686	-0,246	-22,681			
14	13	93,3	13,584	-0,332	-30,957			
15	14	97,4	60,617	-0,525	-51,145			
16			201,237		-13,809			

Por lo tanto, el estadístico W es el siguiente:

$$=H5/H6$$

H7								
=H5/H6								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	N°	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%)	$(x_i - \bar{x})^2$	$a_i$	$a_i x_i$			
2	1	82,2	54,972	0,525	43,163			
3	2	84,2	29,314	0,332	27,938			
4	3	85,5	16,927	0,246	21,033			
5	4	86,3	10,984	0,180	15,551		W_numerador	190,682
6	5	89,3	0,099	0,124	11,073		W_denominador	201,237
7	6	90,3	0,470	0,073	6,565		W=	0,948
8	7	90,4	0,617	0,024	2,170			
9	8	90,5	0,784	-0,024	-2,172			
10	9	90,6	0,972	-0,073	-6,587			
11	10	90,9	1,653	-0,124	-11,272			
12	11	91,5	3,556	-0,180	-16,488			
13	12	92,2	6,686	-0,246	-22,681			
14	13	93,3	13,584	-0,332	-30,957			
15	14	97,4	60,617	-0,525	-51,145			
16			201,237		-13,809			

Por último, se obtiene el valor p de la prueba utilizando la tabla de valores p de la prueba de Shapiro-Wilk teniendo en cuenta el tamaño de la muestra.

A continuación, se muestra un extracto de la tabla de valores p de la prueba de Shapiro-Wilk:

n	$W_{0.01}$	$W_{0.02}$	$W_{0.05}$	$W_{0.10}$	$W_{0.50}$
3	0.753	0.756	0.767	0.789	0.959
4	0.687	0.707	0.748	0.792	0.935
5	0.686	0.715	0.762	0.806	0.927
6	0.713	0.743	0.788	0.826	0.927
7	0.730	0.760	0.803	0.838	0.928
8	0.749	0.778	0.818	0.851	0.932
9	0.764	0.791	0.829	0.859	0.935
10	0.781	0.806	0.842	0.869	0.938
11	0.792	0.817	0.850	0.876	0.940
12	0.805	0.828	0.859	0.883	0.943
13	0.814	0.837	0.866	0.889	0.945
14	0.825	0.846	0.874	0.895	0.947
15	0.835	0.855	0.881	0.901	0.950
16	0.844	0.863	0.887	0.906	0.952
17	0.851	0.869	0.892	0.910	0.954
18	0.858	0.874	0.897	0.914	0.956
19	0.863	0.879	0.901	0.917	0.957
20	0.868	0.884	0.905	0.920	0.959

Para esta prueba, utilizaremos un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 0,05. En la tabla se puede ver que para  $n=14$ ,  $W = 0,948$  está entre  $W_{0,10} = 0,895$  y  $W_{0,50} = 0,947$ , lo que significa que el valor p está entre 0,10 y 0,50. Esto significa que el valor p es mayor que  $\alpha = 0,05$ , por lo que no se rechaza la hipótesis nula.

Por lo tanto, concluimos que no hay pruebas suficientes de que el conjunto de datos no proceda de una población con distribución normal. Es decir, podemos considerar que el conjunto de datos está distribuido normalmente.

#### Anexo 4. Cómo realizar una prueba t de muestras emparejadas en Excel.

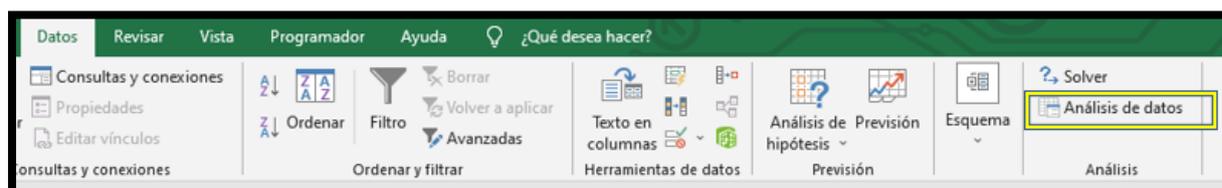
En la siguiente tabla se presenta la muestra de los datos de la dimensión correspondiente a la disponibilidad mecánica, en porcentaje, de los 14 buses en estudio para el pre-test y post-test. Se utilizó la prueba t de muestras emparejadas en Excel para comparar la diferencia entre los dos períodos, porque para cada bus del pre-test se puede emparejar con el valor obtenido del post-test.

	A	B	C	D
1	Nº	CÓDIGO DE BUSES	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) PRE-TEST	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) POST-TEST
2	1	SUITE-16	86,3	95,4
3	2	SUITE-17	82,2	94,6
4	3	SUITE-18	97,4	97,2
5	4	SUITE-19	85,5	95,5
6	5	SUITE-20	90,4	93,8
7	6	SUITE-21	90,5	93
8	7	SUITE-22	91,5	97,1
9	8	SUITE-23	84,2	97,1
10	9	SUITE-24	92,2	96,9
11	10	SUITE-25	90,3	96,2
12	11	SUITE-26	90,6	95,7
13	12	SUITE-27	93,3	94,8
14	13	SUITE-36	90,9	94,2
15	14	SUITE-37	89,3	95,7

Se considera los siguientes pasos para realizar una prueba t de muestras pareadas para determinar si hay una diferencia significativa en las puntuaciones medias de la prueba entre el pre-test y post-test.

#### Paso 1: Se abre el paquete de herramientas de análisis de datos.

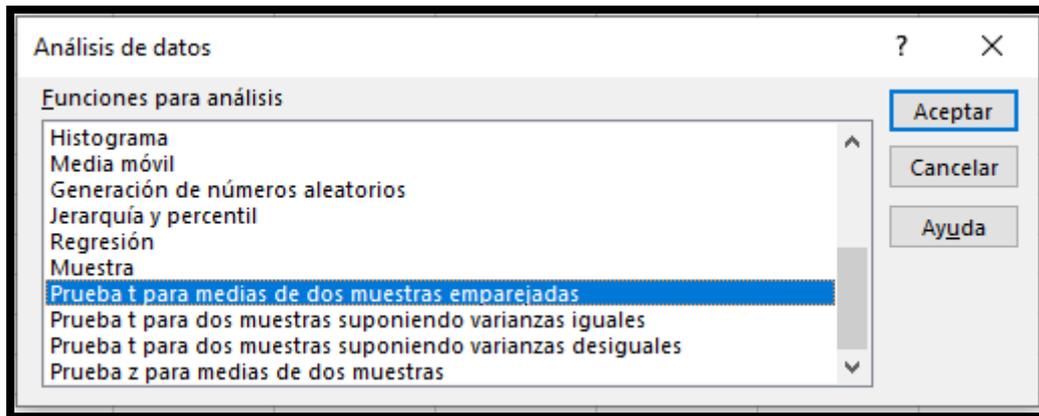
En la pestaña Datos a lo largo de la cinta superior, haga clic en “Análisis de datos”.



Si no se ve esto como una opción para hacer clic, primero se debe descargar Analysis ToolPak , el que es completamente gratuito.

### Paso 2: Se selecciona la prueba adecuada para usar.

Se selecciona la opción que dice *t-Test: Prueba t para medias de dos muestras emparejadas* y luego se hace clic en *Aceptar*.



### Paso 3: Se ingresa la información necesaria.

Se ingresa el rango de valores para la Variable 1 (las puntuaciones previas a la prueba), la Variable 2 (las puntuaciones posteriores a la prueba), la diferencia media hipotética (en este caso, ponemos «0» porque se quiere saber si la diferencia media real entre las puntuaciones previas y posteriores a la prueba es 0), y el rango de salida en el que nos gustaría ver los resultados de la prueba mostrados. Luego, se hace clic en “Aceptar”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	N°	CÓDIGO DE BUSES	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) PRE-TEST	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) POST-TEST						
1										
2	1	SUITE-16	86,3	95,4						
3	2	SUITE-17	82,2	94,6						
4	3	SUITE-18	97,4	97,2						
5	4	SUITE-19	85,5	95,5						
6	5	SUITE-20	90,4	93,8						
7	6	SUITE-21	90,5	93						
8	7	SUITE-22	91,5	97,1						
9	8	SUITE-23	84,2	97,1						
10	9	SUITE-24	92,2	96,9						
11	10	SUITE-25	90,3	96,2						
12	11	SUITE-26	90,6	95,7						
13	12	SUITE-27	93,3	94,8						
14	13	SUITE-36	90,9	94,2						
15	14	SUITE-37	89,3	95,7						
16										

#### Paso 4: Se interpreta los resultados.

Una vez que se haga clic en Aceptar en el paso anterior, se mostrarán los resultados de la prueba t.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	N°	CÓDIGO DE BUSES	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) PRE-TEST	DISPONIBILIDAD MECÁNICA (%) POST-TEST				
1	1	SUITE-16	86,3	95,4				
2	2	SUITE-17	82,2	94,6		Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
3	3	SUITE-18	97,4	97,2				
4	4	SUITE-19	85,5	95,5			Variable 1	Variable 2
5	5	SUITE-20	90,4	93,8		Media	89,6142857	95,5142857
6	6	SUITE-21	90,5	93		Varianza	15,4797802	1,7443956
7	7	SUITE-22	91,5	97,1		Observaciones	14	14
8	8	SUITE-23	84,2	97,1		Coefficiente de correlación de Pearson	0,16323556	
9	9	SUITE-24	92,2	96,9		Diferencia hipotética de las medias	0	
10	10	SUITE-25	90,3	96,2		Grados de libertad	13	
11	11	SUITE-26	90,6	95,7		Estadístico t	-5,60225111	
12	12	SUITE-27	93,3	94,8		P(T<=t) una cola	4,2962E-05	
13	13	SUITE-36	90,9	94,2		Valor crítico de t (una cola)	1,7709334	
14	14	SUITE-37	89,3	95,7		P(T<=t) dos colas	8,5924E-05	
15	15					Valor crítico de t (dos colas)	2,16036866	

A continuación, se explica cómo interpretar los resultados:

**Media:** ésta es la media de cada muestra. La puntuación media previa a la prueba es **89,6** y la puntuación media posterior a la prueba es **95,5**.

**Varianza:** ésta es la varianza de cada muestra. La varianza de las puntuaciones previas a la prueba es **15,48** y la varianza de las puntuaciones posteriores a la prueba es **1,74**.

**Observaciones:** éste es el número de observaciones en cada muestra. Ambas muestras tienen **14** observaciones.

**Correlación de Pearson:** la correlación entre las puntuaciones previas a la prueba y las puntuaciones posteriores a la prueba. Resulta ser **0,163**.

**Diferencia de medias hipotética:** El número que «hipotetizamos» es la diferencia entre las dos medias. En este caso, elegimos **0** porque queremos probar si existe o no alguna diferencia entre los puntajes previos y posteriores a la prueba.

**gl:** los grados de libertad de la prueba t. Esto se calcula como  $n-1$  donde  $n$  es el número de pares. En este caso,  $gl = 14 - 1 = 13$ .

**t Stat:** el estadístico de prueba  $t$ , que resulta ser **-5,60**.

**P ( $T \leq t$ ) de dos colas:** el valor  $p$  para una prueba  $t$  de dos colas. En este caso,  $p = 0,0000859$ . Esto es menor que  $\alpha = 0,05$ , por lo que rechazamos la hipótesis nula. Tenemos evidencia suficiente para decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la puntuación media antes y después de la prueba.

**$t$  Crítico de dos colas:** Este es el valor crítico de la prueba, que se encuentra identificando el valor en la tabla de distribución  $t$  que corresponde con una prueba de dos colas con  $\alpha = 0,05$  y  $gl = 13$ . Esto resulta ser **2,16**. Dado que el valor absoluto de nuestro estadístico de prueba  $t$  es mayor que este valor, rechazamos la hipótesis nula. Entonces, se tiene evidencia suficiente para decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la puntuación media antes y después de la prueba.

Se debe tener en cuenta que el enfoque del valor  $p$  y el valor crítico direccionan a la misma conclusión.