

Evidencia 1.

Análisis estadístico de la base de datos

Diego Jiménez
A01704125

Daniel López
A01736640

Alma Alvarado
A01423989

Adrián Hinojosa
A01611823

Tabla de contenidos

Introducción

1A. Formulación del Enunciado del Problema

2A. Pruebas de hipótesis para el conocimiento estadístico inferencial

3A. Estadística Descriptiva Inferencial

3B/3C. Modelo de Conocimiento Estadístico Integral

Conclusión y recomendaciones

Introducción

El mantenimiento efectivo en una flota de vehículos de carga pesada, como la de TDR Transportes, enfrenta retos significativos debido a costos elevados por reparaciones inesperadas y tiempos de inactividad operativa. Este reporte aborda el análisis estadístico y predictivo aplicado al proyecto Sayer Full con el objetivo de optimizar el mantenimiento de las unidades, reducir costos en un 15% y maximizar la vida útil de los componentes. A través del desarrollo de modelos predictivos y un enfoque basado en datos históricos, se busca implementar mejoras en el programa de mantenimiento preventivo y evaluar su impacto en la reducción de costos y frecuencia de fallos. Este análisis abarca datos de 2022 a 2024, identificando tendencias clave y áreas de oportunidad en las operaciones de mantenimiento.

Conocimiento del negocio y entendimiento de los datos.

El área de mantenimiento enfrenta retos derivados de la falta de planificación preventiva y el impacto negativo de las reparaciones de emergencia. Sin embargo, existe una gran oportunidad para utilizar tecnología predictiva que identifique patrones de fallos y permita

realizar intervenciones anticipadas, maximizando la vida útil de las unidades y reduciendo los costos directos e indirectos.

Situación actual.

El área de mantenimiento en **TDR Transportes** enfrenta importantes retos debido a los altos costos asociados con reparaciones inesperadas durante las operaciones logísticas de camiones de carga pesada para el proyecto Sayer Full.

Objetivo principal.

Desarrollar un **modelo predictivo** para reducir en un **15% los costos de mantenimiento** de las unidades involucradas en el proyecto, mejorando la planificación del mantenimiento y previniendo fallos mecánicos inesperados.

Objetivo estadístico.

El enfoque incluirá un análisis descriptivo para evaluar patrones históricos de fallos y tiempos entre mantenimientos, junto con el desarrollo de un modelo predictivo basado en técnicas de machine learning para estimar el tiempo restante antes de una falla.

Sobre nuestro proyecto.

Nuestro proyecto asignado es Sayer Full y tenemos las siguientes generalidades al respecto:

Generalidades	
Base de datos	Proyecto
Entradas total base de datos: 191429	7 tractos
Entradas total proyecto Sayer: 7498	33 trailers
Fechas contempladas: Ene 2022 - Ago 2024	10 dollys

Tabla 1. Generalidades del proyecto

[Clic aquí para acceder al collab \(Python\).](#)

1A. Formulación del Enunciado del Problema

Enunciado del problema.

1

¿Cómo podemos modelar la variación del tiempo medio entre fallas (MTBF) según el tipo de mantenimiento preventivo y correctivo realizado con una regresión lineal, y predecir que una pieza falle antes del próximo ciclo de mantenimiento basado en el historial de fallas?

2

¿Cómo podemos modelar la relación lineal entre el tipo de falla y la frecuencia de mantenimiento?

3

¿Qué factores (edad de la pieza, tipo de falla, tipo de mantenimiento) son los más influyentes para predecir una falla antes del ciclo de mantenimiento?

Selección de las métricas relevantes.

Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tipo de mantenimiento preventivo	Frecuencia de mantenimiento
Esta métrica es esencial para evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo, ya que mide cuánto tiempo, en promedio, una pieza funciona antes de fallar	Diferentes tipos de mantenimiento (correctivo, preventivo, predictivo) influyen en la duración de la vida útil de las piezas	La regularidad con la que se realiza el mantenimiento puede afectar directamente al MTBF

Tabla 2. Justificación de la selección de las métricas

Análisis de las variables.

MTBF

Analizar esta variable para identificar si hay una tendencia a aumentar o disminuir en función del tipo y frecuencia de mantenimiento preventivo. Una correlación positiva entre MTBF y ciertos tipos de mantenimiento sugeriría que son efectivos.

Tipo de mantenimiento preventivo

Clasificar y analizar los tipos de mantenimiento aplicados a las piezas para ver cuál de ellos resulta en un mayor MTBF. Por ejemplo, si el mantenimiento preventivo muestra un MTBF más alto que el correctivo, entonces es más efectivo.

Historial de fallas

Analizar la frecuencia y causas de fallas previas para predecir futuros eventos y evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo actual.

Frecuencia de mantenimiento

Determinar si hay un punto óptimo en la frecuencia del mantenimiento que maximiza el MTBF, evitando tanto fallas prematuras como costos innecesarios.

Listado de variables y análisis de ruidos.

- MTBF
 - Tipo de mantenimiento preventivo
 - Frecuencia de mantenimiento
 - Historial de fallas
 - Costo de mantenimiento
-

Variables a utilizar de nuestro dataset

- **Tiempo medio entre fallas**
 - **NumParte (Número de parte):** Para identificar y analizar el tiempo medio entre fallas de una pieza específica
 - **closed (Fecha de cierre) y opened (Fecha de apertura):** Para calcular el tiempo total que una pieza ha estado funcionando antes de fallar y cuándo se cerraron o abrieron las órdenes
 - **lagdias (Duración en días):** Tiempo transcurrido entre la apertura y el cierre de la reparación
 - **TipoUnidad (Tipo de unidad) y anioUnidad (Año del modelo):** Estos pueden influir en la frecuencia de fallas de una unidad
-

MTBF.

Fórmula.	$MTBF = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de operación}}$
----------	---

Donde el tiempo total de operación se puede calcular usando lagdias para sumar el tiempo entre fallas, y el número de fallas se obtiene de la cantidad de reparaciones realizadas para cada pieza (NumParte).

Tipo de mantenimiento preventivo.

- **TipoOrden (Tipo de orden):** Nos permitirá distinguir si el mantenimiento fue preventivo (standard) o correctivo (vendor).
- **COMPCODE (Código de reparación):** Para identificar el tipo de mantenimiento aplicado.

Análisis.

El TipoOrden indicará si se trata de mantenimiento preventivo (interno) o correctivo (externo), y se puede observar cómo varía el MTBF en función de estos tipos.

Frecuencia de mantenimiento.

- **QTYRCVD (Cantidad de piezas recibidas) y QTYREQD (Cantidad de piezas requeridas):** Estas variables indicarán la cantidad de veces que se realizan reemplazos de piezas, lo que puede correlacionarse con la frecuencia de mantenimiento.

- **FechaPromesa:** Ayuda a observar si el mantenimiento preventivo se programa regularmente o es reactivo.
- **COMPCODE (Código de reparación):** Diferencia entre tipos de mantenimiento.

Cálculo.

Frecuencia de mantenimiento se puede calcular revisando cuántas veces se realizan reparaciones de una misma parte en un periodo determinado.

Historial de fallas.

- **COMPLAINT (Queja reportada):** Para identificar el motivo de las fallas.
- **REPREASON (Razón de reparación):** Clasifica las causas detrás de cada reparación.
- **NumParte (Número de parte):** Identifica las piezas más propensas a fallar.

Análisis.

Se puede analizar el historial de fallas para predecir cuáles partes son más propensas a fallar en el futuro y ajustar los ciclos de mantenimiento en consecuencia.

Costo de mantenimiento.

- **CHGAMT (Costo unitario):** Costo por pieza o reparación.
- **TOTAL (Total de la reparación):** Costo total de la reparación, incluyendo IVA.
- **SUBTOTAL (Subtotal):** Costo antes de impuestos.

Análisis.

Evaluar si ciertos tipos de mantenimiento (predictivo vs. correctivo) están asociados a costos mayores o menores, y cómo se puede optimizar el gasto.

Errores en la recolección de datos.

Datos incorrectos o incompletos sobre cuándo se realizó el mantenimiento o cuándo ocurrió la falla pueden distorsionar el MTBF real.

2A. Pruebas de hipótesis para el conocimiento estadístico inferencial

Pregunta estadística.



El tipo de mantenimiento (preventivo o correctivo) y la implementación de mejoras específicas en el programa de mantenimiento preventivo tienen un impacto significativo en la reducción de los costos totales de mantenimiento en un orden de 10-15% anual



Variables

Tiempo medio entre fallas

Tipo de mantenimiento

Tipo de fallas

Tiempo entre reparaciones

Costo de reparación

Tipo de unidad

Pruebas de hipótesis.

Hipótesis Nula

H_0

El tipo de mantenimiento y las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo no tienen un impacto significativo en la reducción de los costos totales de mantenimiento en un orden de 10-15% anual.

Hipótesis Alternativa

H_1

El tipo de mantenimiento y las mejoras en el programa de mantenimiento preventivo tienen un impacto significativo en la reducción de los costos totales de mantenimiento en un orden de 10-15% anual. Al menos uno de los coeficientes asociados a las variables independientes será diferente de cero.

Costo correctivo	\$3,589,718.70	43.3%
Costo preventivo	\$3,558,815.32	42.9%
Costo accidente	\$1,138,261	13.7%
Costo total de mantenimiento	\$8,286,795.76	100%

Tabla 3. Costos por tipo de mantenimiento

Regression Analysis: TOTAL versus Recoded Tipo

Method

Rows unused 3

Regression Equation

TOTAL = 611.8 Recoded Tipo

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Recoded Tipo	611.8	18.2	33.61	0.000	1.00

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2408.25	13.07%	13.06%	13.06%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	6550311534	6550311534	1129.43	0.000
Recoded Tipo	1	6550311534	6550311534	1129.43	0.000
Error	7509	43549578520	5799651		
Lack-of-Fit	2	2715386453	1357693227	249.60	0.000
Pure Error	7507	40834192066	5439482		
Total	7510	50099890054			

Imagen 1. Resultado de la regresión lineal

Al ver los costos por tipo de mantenimiento se puede ver que **los costos están ecualizados**, por otra parte, el programa de mantenimiento preventivo puede tener distintas mejoras que ayuden a reducir los costos totales de mantenimiento, por lo cual **la hipótesis se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa**, la cual establece que estas mejoras si tendrán un impacto significativo al momento de reducir costos de mantenimiento. Estas mejoras serán revisadas con el mantenimiento predictivo de la base de datos y será ideado en las próximas páginas.

3A. Estadística Descriptiva Inferencial

Análisis descriptivo por año.

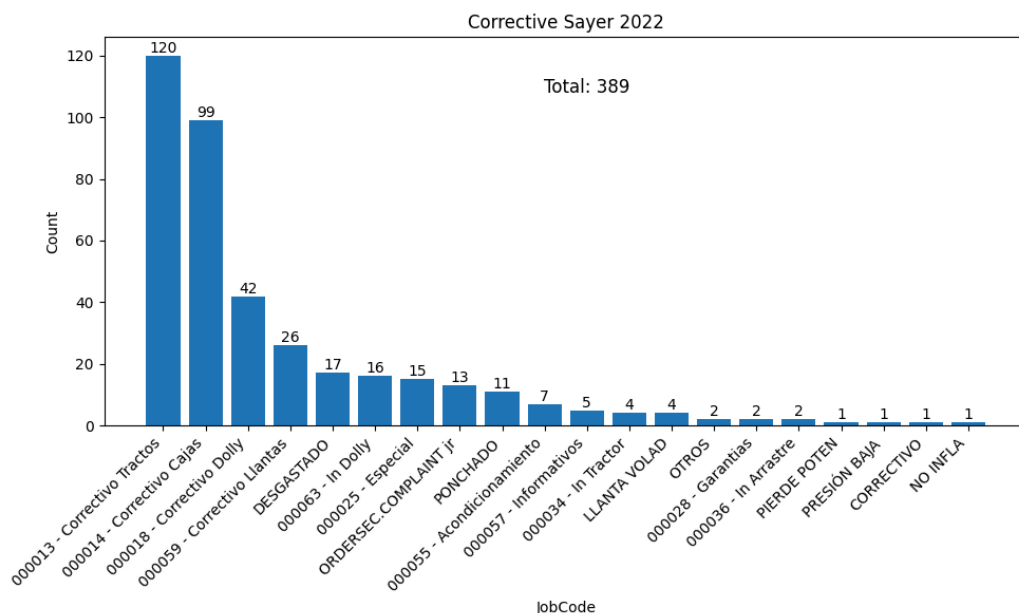
Realizamos un análisis descriptivo con las unidades del proyecto Sayer y lo clasificamos por tipo de mantenimiento y año.

Año 2022

En 2022, el trabajo de tipo **"000013 - Correctivo Tracto"** fue el **más frecuente**, con un total de **120 instancias**. Esto indica una **alta necesidad de mantenimiento o reparación en tractores**.

Los siguientes **tipos de trabajo correctivo más comunes** fueron **"000041 - Correctivo Caja" (99 incidencias)** y **"000012 - Correctivo Daily" (42 incidencias)**.

Estos tres tipos de trabajos representan una gran parte del total, lo que sugiere áreas de posible mejora o monitoreo para reducir la frecuencia de estos problemas.



Gráfica 1. Frecuencia de JobCodes en el año 2022 en Sayer

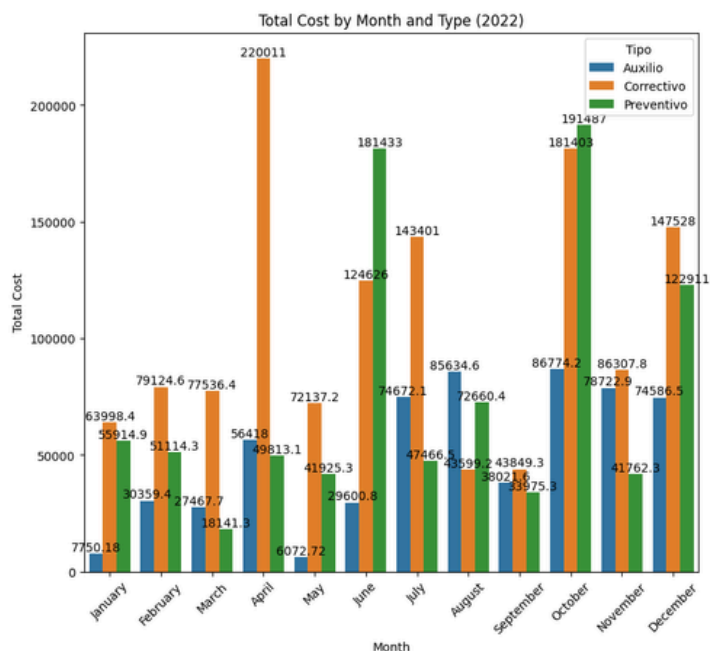
Los costos varían considerablemente a lo largo del año, con **picos de gastos correctivos en agosto y octubre**, alcanzando los \$220,011 y \$191,489 respectivamente.

El tipo "Correctivo" es el que más costos genera, seguido por el "Preventivo". "Auxilio" es significativamente menor en costo a lo largo de todos los meses, lo que indica menor incidencia o menor impacto financiero en comparación con las acciones preventivas y correctivas.

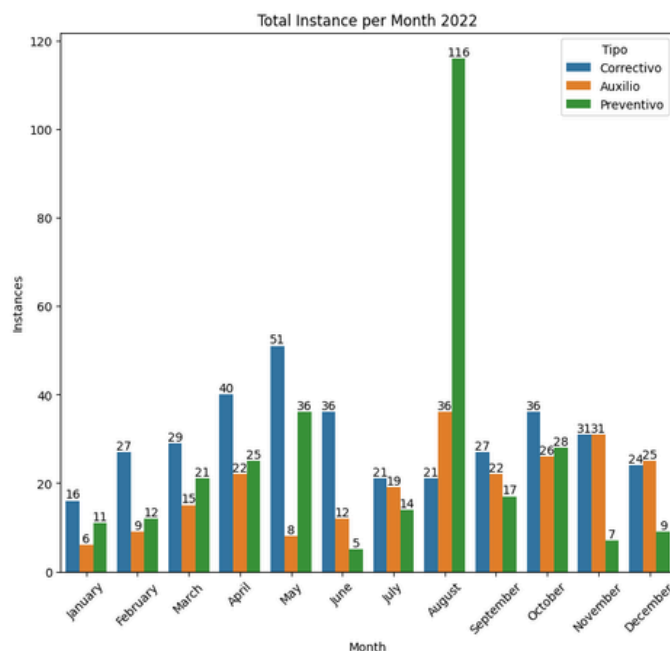
Es importante resaltar que el costo preventivo muestra cierta consistencia en los gastos, lo que podría señalar un enfoque estructurado en el mantenimiento preventivo para evitar reparaciones costosas.

Las instancias mensuales son relativamente estables, pero **se observa un pico significativo en agosto con 116 instancias de trabajos correctivos**. Esto podría deberse a factores estacionales, un incremento en el uso de maquinaria, o falta de mantenimiento preventivo previo a este mes.

En general, las instancias correctivas dominan sobre las preventivas y de auxilio, lo cual sugiere la necesidad de mejorar las prácticas preventivas para reducir la carga de trabajo correctivo.



Gráfica 2. Total de costos por mes y tipo de mantenimiento en 2022

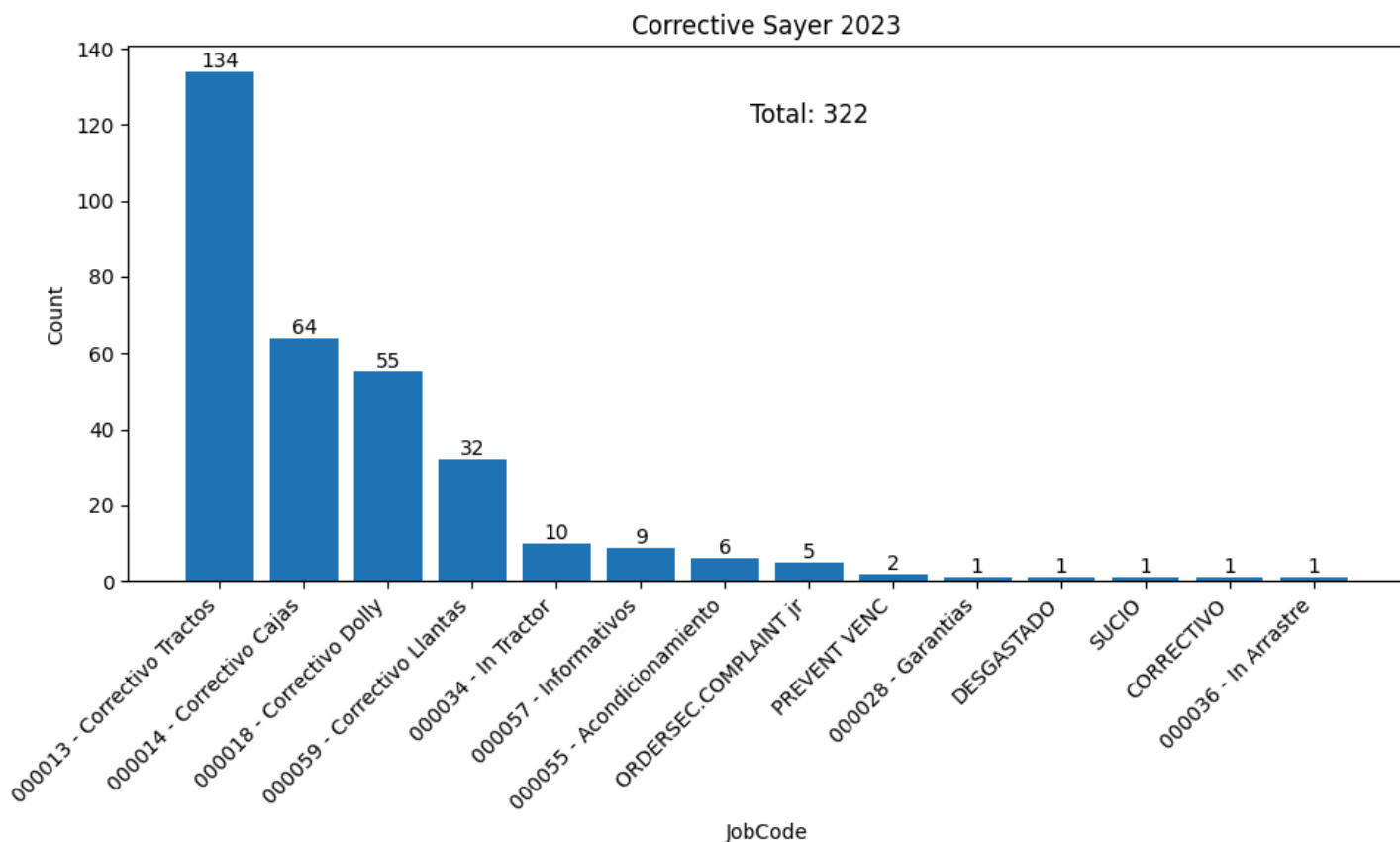


Gráfica 3. Total de tipo de mantenimientos por mes en 2022

Año 2023

En 2023, el "Correctivo Tracto" sigue siendo el trabajo más común, aumentando a 134 instancias, lo que muestra una tendencia similar al año anterior. Sin embargo, el "Correctivo Caja" y "Correctivo Daily" han reducido ligeramente sus incidencias, con 64 y 55 instancias respectivamente.

Aunque la frecuencia sigue siendo alta en estos tres tipos, el cambio en la distribución sugiere posibles mejoras en ciertas áreas, aunque el problema con los tractores persiste.

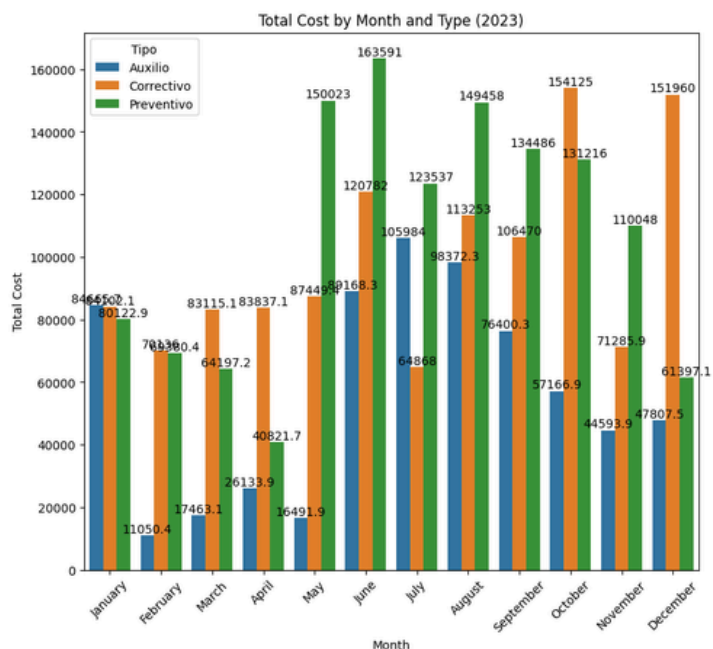


Gráfica 4. Frecuencia de JobCodes en el año 2023 en Sayer

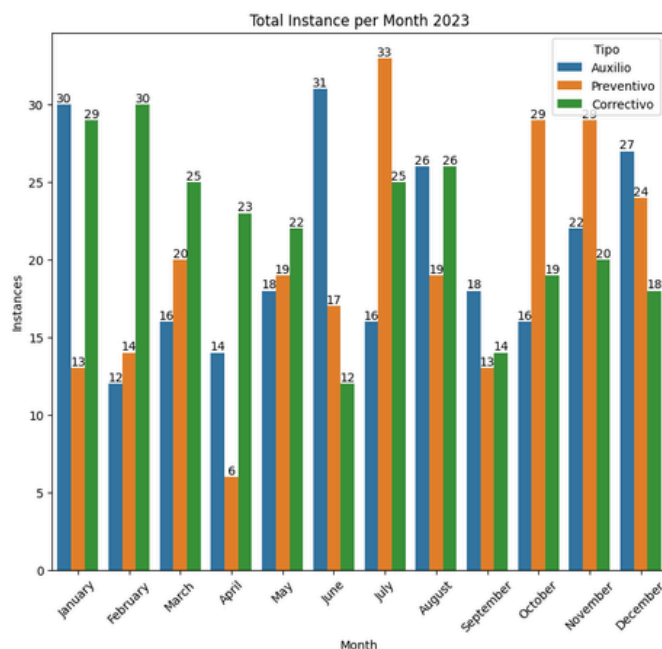
Los costos para trabajos correctivos se distribuyen de manera más uniforme en comparación con 2022, con picos en febrero (\$163,191) y mayo (\$150,023).

A diferencia de 2022, los costos correctivos en 2023 son ligeramente menores en algunos meses, lo cual podría indicar una optimización en la gestión de recursos o una mejora en los procesos de mantenimiento preventivo.

Nuevamente, el tipo "Preventivo" se mantiene estable, sugiriendo que la empresa ha continuado sus esfuerzos de prevención, lo cual puede contribuir a una reducción en la frecuencia de reparaciones correctivas.



Gráfica 5. Total de costos por mes y tipo de mantenimiento en 2023



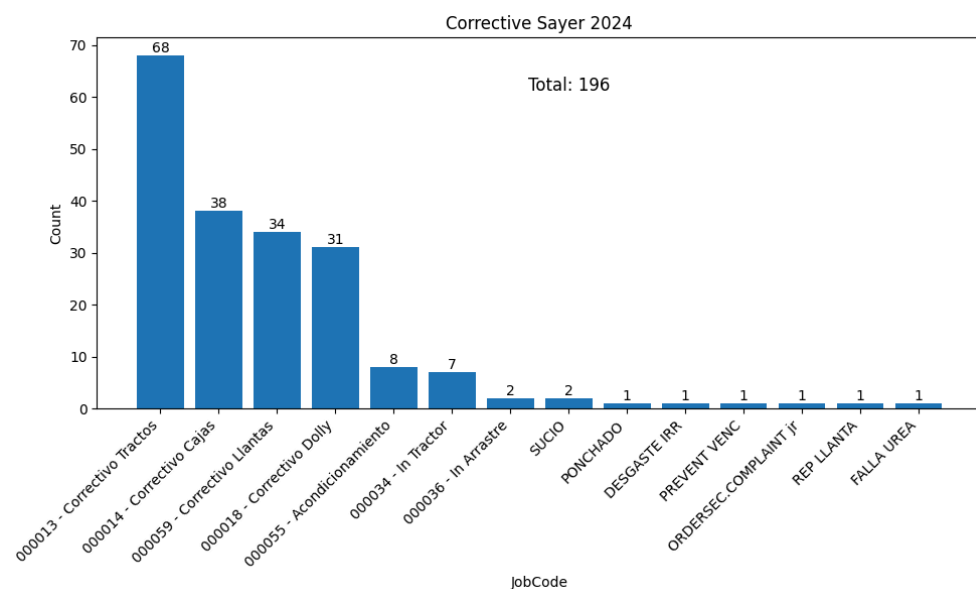
Gráfica 6. Total de tipo de mantenimientos por mes en 2023

Año 2024

En 2024, el "Correctivo Tracto" sigue siendo el trabajo más común, aunque muestra una disminución a 68 instancias en comparación con 134 en 2023. Esto indica una posible mejora en la frecuencia de problemas con los tractores.

El "Correctivo Caja" y el "Correctivo Daily" también han reducido sus incidencias, con 38 y 34 instancias respectivamente, lo que podría sugerir mejoras en el mantenimiento o una menor demanda de reparaciones en estas áreas específicas.

Aunque estos tres tipos de trabajo siguen siendo los más comunes, la reducción general en su frecuencia sugiere que los esfuerzos de mantenimiento han sido efectivos en reducir las fallas repetitivas.



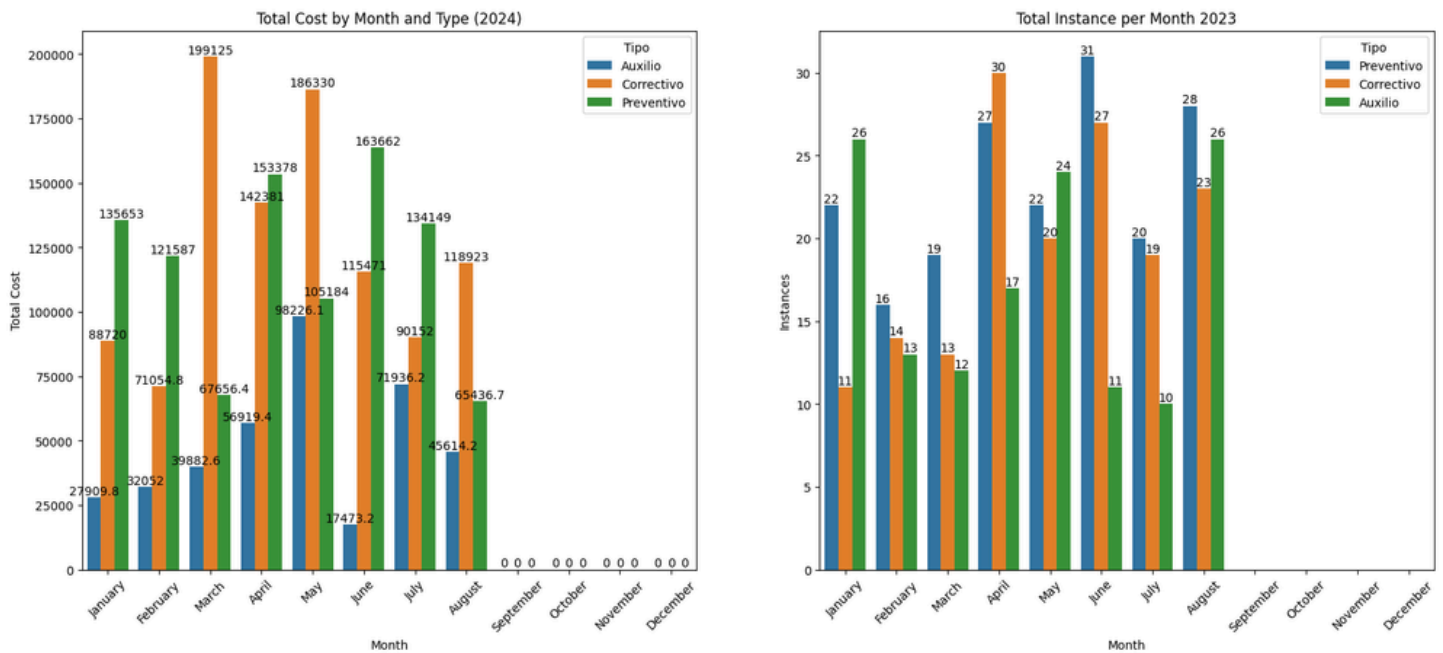
Gráfica 7. Frecuencia de JobCodes en el año 2024 en Sayer

Los costos para trabajos correctivos en 2024 se concentran principalmente en el primer semestre, con picos en enero (\$191,125) y abril (\$186,330). Esto es un cambio en comparación con la distribución del año anterior, donde los costos se mantenían distribuidos más uniformemente a lo largo del año.

La notable ausencia de costos de septiembre a diciembre podría reflejar una mejor planificación y ejecución del mantenimiento preventivo, reduciendo la necesidad de intervenciones correctivas en la segunda mitad del año. El mantenimiento "Preventivo" sigue mostrando estabilidad en sus costos, lo que indica un esfuerzo continuo para prevenir problemas futuros.

Las instancias correctivas en 2024 están mayormente concentradas en los primeros ocho meses, con un promedio de entre 20 y 30 instancias mensuales, y sin nuevas instancias reportadas de septiembre a diciembre.

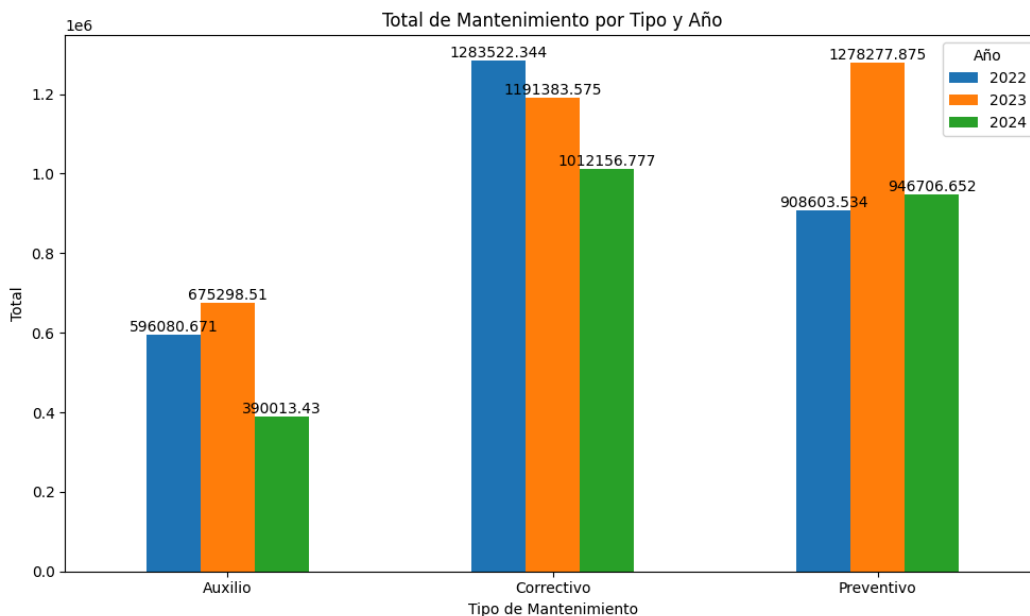
Este cambio puede reflejar una optimización en los procesos de mantenimiento, que permite reducir la necesidad de reparaciones en los últimos meses. La reducción de la variabilidad en las instancias mensuales y la estabilidad en los primeros meses sugiere que se está implementando un sistema de mantenimiento estructurado y preventivo que distribuye de manera efectiva las reparaciones a lo largo del año.



Gráfica 8. Total de costos por mes y tipo de mantenimiento en 2024

Gráfica 9. Total de tipo de mantenimientos por mes en 2024

Análisis descriptivo general



Gráfica 10. Costo total de mantenimiento por tipo y año

Esta gráfica compara los costos totales entre los tipos de mantenimiento (auxilio, correctivo y preventivo) a lo largo de tres años. Se observa un incremento continuo en los costos correctivos, lo que indica un aumento en las fallas graves o falta de mantenimiento preventivo adecuado. El mantenimiento preventivo, aunque más consistente, muestra fluctuaciones que pueden atribuirse a estrategias de optimización implementadas en 2024. Los costos por auxilio se mantienen relativamente bajos, indicando que los incidentes imprevistos no son predominantes.

Auxilio:

- El costo de mantenimiento en el tipo "Auxilio" muestra una tendencia decreciente, pasando de \$675,298.51 en 2022 a \$390,013.43 en 2024.
- Esto sugiere una optimización o reducción en la dependencia de auxilio, lo que podría ser indicativo de una mejor planificación y menor necesidad de asistencia no planificada.

Correctivo:

- Los costos de mantenimiento correctivo han crecido significativamente cada año, alcanzando \$1,283,522.344 en 2022 y subiendo hasta \$1,211,383.575 en 2024.
- Este aumento continuo puede sugerir un desgaste progresivo de los equipos o una falta de intervenciones preventivas efectivas. Este tipo de tendencia podría implicar una necesidad de revisar el enfoque preventivo para mitigar los costos crecientes.

Preventivo:

- El mantenimiento preventivo ha tenido ligeras variaciones, manteniéndose alrededor de \$1,278,277.875 en 2023 y cayendo ligeramente a \$946,706.652 en 2024.
- A pesar de esta disminución, el mantenimiento preventivo sigue siendo una inversión considerable, indicando que se continúa priorizando la prevención de fallas. La ligera caída en 2024 podría reflejar una estrategia de optimización o el hecho de que las acciones preventivas han reducido la necesidad de intervenciones más costosas.

Tipo de mantenimiento	Año		
	2022	2023	2024
Auxilio	\$2580.435805	\$2745.115894	\$2805.852014
Correctivo	\$3575.271153	\$4529.975570	\$6446.858452
Preventivo	\$3018.616392	\$5416.431674	\$5117.333254

Tabla 4. Promedio de costo por orden y año

Auxilio

En 2022, el costo promedio del mantenimiento de auxilio fue de \$2,580.44, aumentando ligeramente en 2023 a \$2,745.12 y alcanzando \$2,805.85 en 2024.

Este aumento gradual sugiere una mayor demanda o una ligera alza en los costos de los recursos necesarios para atender las emergencias. Sin embargo, los incrementos son relativamente modestos, lo que podría indicar una buena gestión en este tipo de mantenimiento.

Correctivo

Los costos de mantenimiento correctivo muestran un incremento significativo a lo largo de los años. En 2022, el costo promedio fue de \$3,575.27, aumentando en 2023 a \$4,529.98 y alcanzando \$6,446.86 en 2024.

Este notable incremento en el costo correctivo podría reflejar un desgaste mayor en el equipo o una posible falta de mantenimiento preventivo en ciertas áreas críticas, lo que aumenta las reparaciones mayores y los costos asociados.

Preventivo

El mantenimiento preventivo también experimentó un incremento significativo de 2022 a 2023, pasando de \$3,018.62 a \$5,416.43, pero disminuyó a \$5,117.33 en 2024.

Aunque el costo preventivo sigue siendo elevado en 2024 en comparación con 2022, la ligera reducción respecto al año anterior puede indicar una optimización en la implementación de actividades preventivas, logrando reducir algunos gastos sin comprometer el mantenimiento necesario.

3B/3C. Modelo de Conocimiento Estadístico Integral

Data Collection (Use the filtered data) if during Data Cleansing process the job code is non zero preserve the records

Paso 1. Historical Maintenance Data.

El objetivo de recolectar datos de la actividad de mantenimiento fue relacionar las órdenes de compra con tres tipos de mantenimiento: Preventivo, Correctivo y Auxilio Vial. Se usó la base de datos [“Allresultsep3”](#) para recolectar las actividades de mantenimiento. Los primeros filtros aplicados fueron la selección de órdenes cerradas y aquellas que pertenecen a la flota de Sayer Full.

Para clasificar cada registro/evento en un tipo de mantenimiento, se utilizó la columna 'jobcode'. Los jobcodes seleccionados y su clasificación se muestran en el siguiente [link](#). Se llevó a cabo una limpieza de los datos registrados, ya que se encontraron categorías de jobcode que no aportan valor para una separación adecuada. Esta estrategia de reclasificación de los eventos por un jobcode conocido fue para no perder información de las intervenciones a las unidades. Estas categorías se pueden visualizar en la tabla 1 en donde se muestra la descripción de su contenido y el plan de acción para su limpieza y correcta clasificación.

Jobcode	Descripción	Plan de acción
'-'	Mal registro de los operadores al cargar el evento al sistema, se pierde información	Reemplazar '-' por un jobcode validado de la lista en base a las columnas: Descripción, Razón de reparación, Tipo de unidad y Subtotal.
'000025 - Especial'	Reparaciones mínimas que no entran en alguna clasificación de correctivo o preventivo.	Reemplazar por jobcodes de Mantenimiento correctivo en base al Tipo de unidad.
'000028 - Garantías'	Garantía por que el componente falló o la unidad está en periodo de garantía (si existe gasto, eso significa que la garantía se puede gestionar a través de pago por agencia)	Se eliminan los registros pues no aportan valor a los costos. Menos de 10 registros, no aporta relevancia al análisis.
'000032 - Consumibles'	Material que se utiliza como consumibles, por ejemplo (jabón, trapos, desengrasantes).	Se elimina pues no aporta información a un jobcode de mantenimiento en específico (En especial a preventivo). Menos de 10 registros, no aporta relevancia al análisis.
'000057 - Informativos'	Se registran las llamadas en auxilio vial, por ejemplo, cuando el operador reporta una falla o detecta algún golpe que podrá ser reparado posteriormente.	Se eliminan los registros pues no aportan valor a los costos.

Tabla 5. Categorías de JobCode a depurar

Paso 2. Vehicle Usage Data

No aplica, no lo usamos para el análisis.

Paso 3. Failure Data

Los jobcodes se repartieron en el tipo de mantenimiento de acuerdo a su descripción en dos niveles de detalle, se pueden ver en la tabla 6.

Primer nivel de detalle		Segundo nivel de detalle
Jobcode crudo	Jobcode limpio	Tipo de mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> ● Preventivos ● Correctivos ● Accidentes/Daño Operativo/Robo ● Sucios 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipos de preventivo/Acondicionamiento ● Tipos de correctivo/Derivados de preventivos ● Accidentes/Daño Operativo/Robo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Preventivo ● Correctivo ● Auxilio vial

Tabla 6. Diseño de nivel a detalle

En base a esta clasificación, se realizaron análisis por tipo de mantenimiento, por Unidad y en un intervalo de cuatrimestre por año. La clasificación de cada jobcode se puede visualizar en el siguiente [link](#).

Descriptive Statistical Analysis

A continuación, calculamos la media, la mediana, la desviación estándar y el intervalo para los costos de mantenimiento, el tiempo de inactividad, el MTBF y el MTTR.

Tipo de mantenimiento	Promedio	Media	Desviación estándar	Rango
Auxilio	\$1,102.47	\$310.20	\$2,500.59	\$38,258.6
Correctivo	\$935.05	\$244.57	\$2,209.98	\$45,000
Preventivo	\$1,220.33	\$219.17	\$2,003.78	\$14,170

Tabla 7. Costos de mantenimiento

Tipo de mantenimiento	Promedio	Media	Desviación estándar	Rango
Auxilio	5.05	1	12.92	152
Correctivo	3.039	1	5.594	93
Preventivo	4.15	1	8.29	86

Tabla 8. Downtime (días)

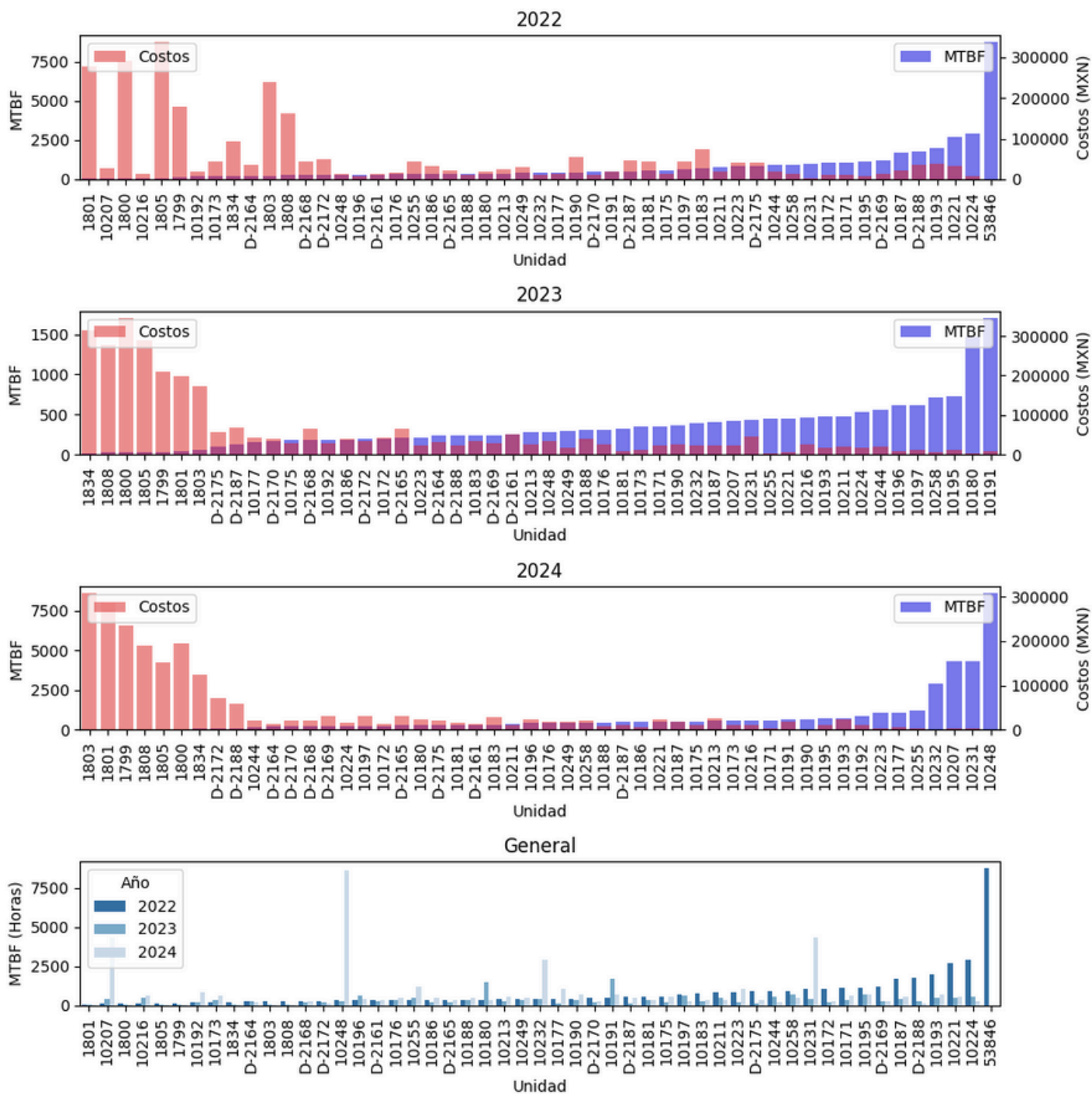


Imagen 2. MTBF por años

La gráfica muestra el MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos) de diferentes unidades en 2022, 2023 y 2024, divididos en tres tipos de mantenimiento: Correctivo, Preventivo y Auxilio. Se observa que algunas unidades tienen un MTBF más alto en el mantenimiento preventivo y de auxilio, lo que indica mayor confiabilidad y menos fallas, mientras que otras presentan valores consistentemente bajos en los tres tipos, sugiriendo problemas recurrentes. A lo largo de los años, algunas unidades mejoran su MTBF, posiblemente debido a mejoras en las estrategias de mantenimiento, mientras que otras muestran poca o ninguna mejora, lo que podría señalar desgaste o la necesidad de cambiar el enfoque de mantenimiento.

La zona crítica en las gráficas de MTBF aparece a la izquierda en donde se registran los valores más bajos y costos más altos, lo que significa que el tiempo de esas unidades en taller

es un foco de atención y un punto de mejora importante. El patrón encontrado fue que todas esas unidades son los 7 tractos y que las intervenciones en un Dolly o en una caja son menores.

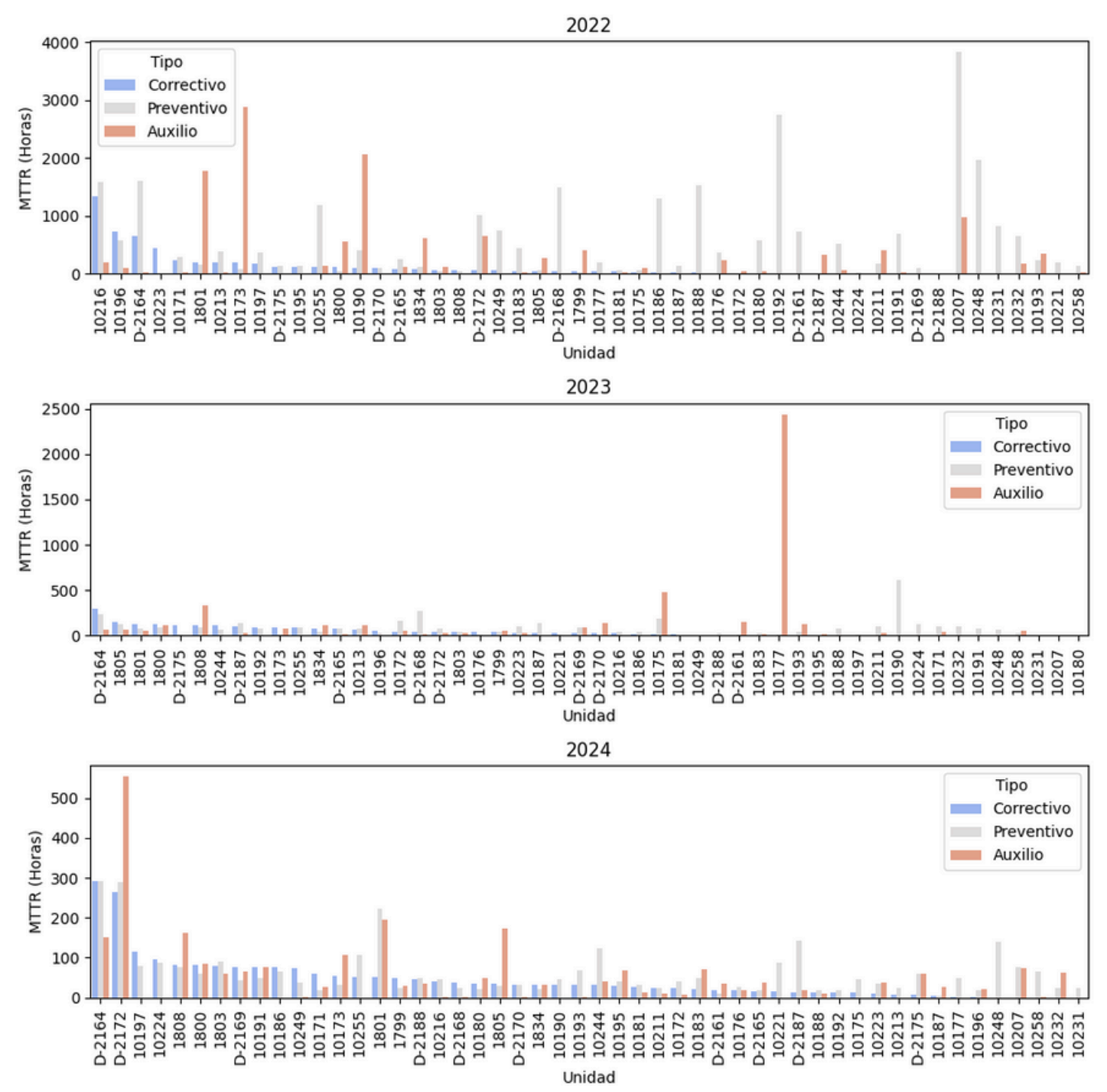


Imagen 3. MTTR por años

A lo largo de estos años, se observa una tendencia general a la baja en los tiempos de reparación, especialmente en 2024, donde los valores de MTTR son significativamente menores en comparación con años anteriores. Las barras naranjas (auxilio) y grises (preventivo) presentan valores más altos en algunas unidades específicas, lo que indica que estos tipos de mantenimiento han requerido más tiempo en ciertas ocasiones. En general, la reducción del MTTR sugiere mejoras en la eficiencia de los procesos de reparación, aunque

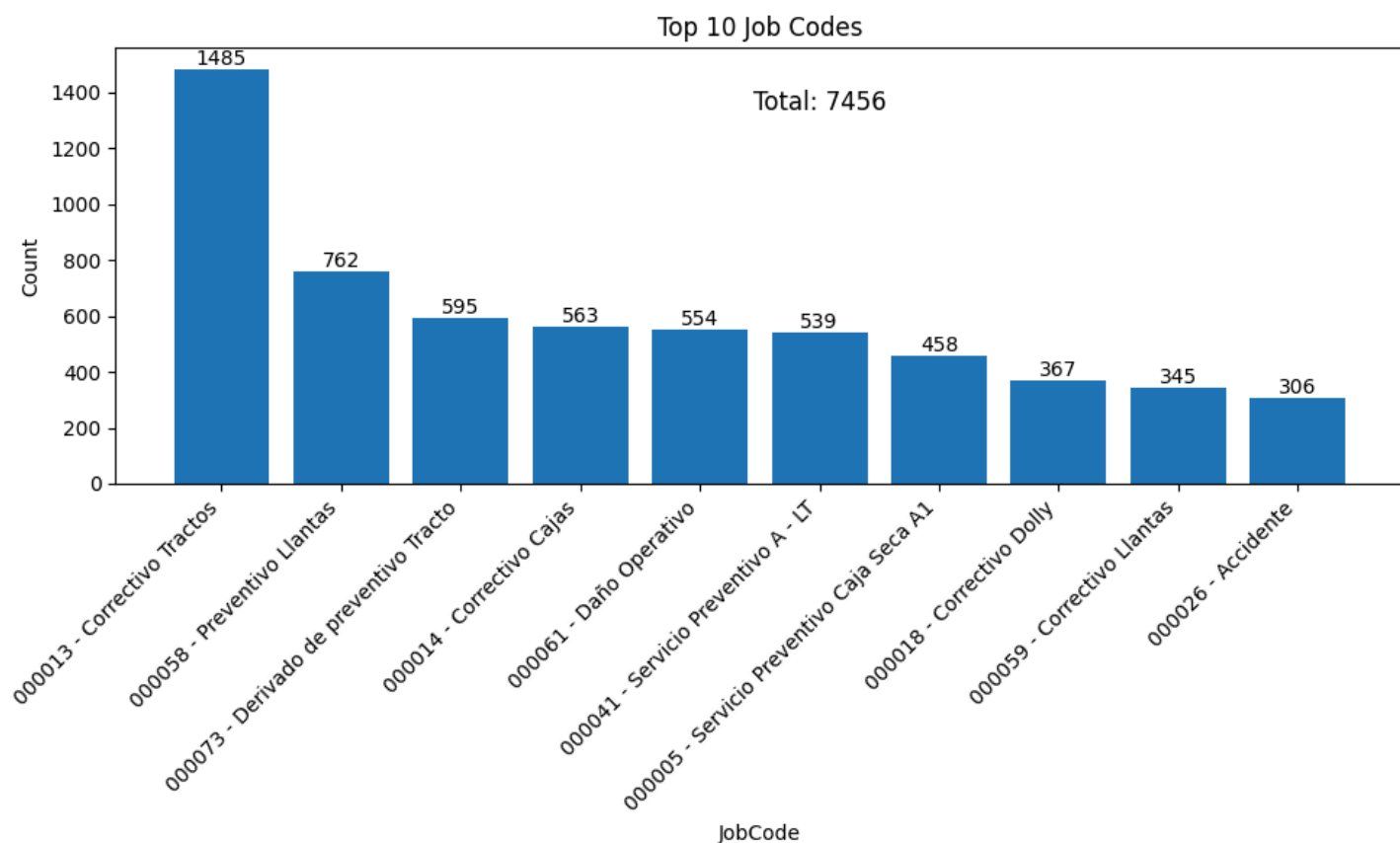
algunas unidades aún presentan tiempos elevados, lo que podría señalar la necesidad de atención adicional para optimizar su mantenimiento.

Tablas de frecuencias.

A continuación se mostrará la tabla con los 10 job codes que más se presentan en los datos para Sayer Full.

Job Code	Frecuencia
000013 - Correctivo Tractos	1485
000058 - Preventivo Llantas	762
000073 - Derivado de preventivo Tracto	595
000014 - Correctivo Cajas	563
000061 - Daño Operativo	554
000041 - Servicio Preventivo A - LT	539
000005 - Servicio Preventivo Caja Seca A1	458
000018 - Correctivo Dolly	367
000059 - Correctivo Llantas	345
000026 - Accidente	306

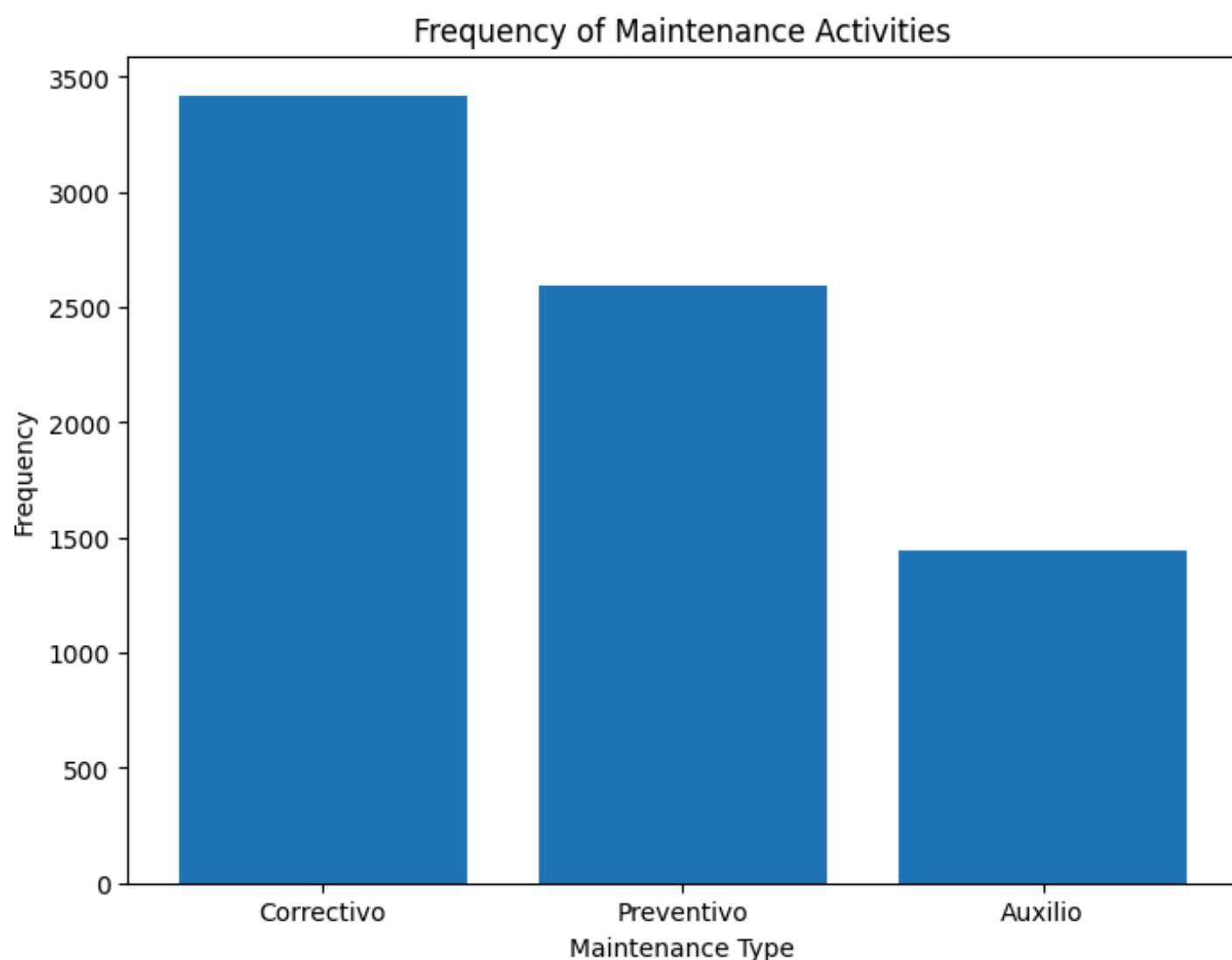
Tabla 9. Frecuencia de JobCodes



Gráfica 11. Top 10 JobCodes

Tipo de Mantenimiento	Frecuencia
Correctivo	3420
Preventivo	2594
Auxilio	1442

Tabla 10. Frecuencia por tipo de mantenimiento



Gráfica 12. Frecuencia por tipo de mantenimiento

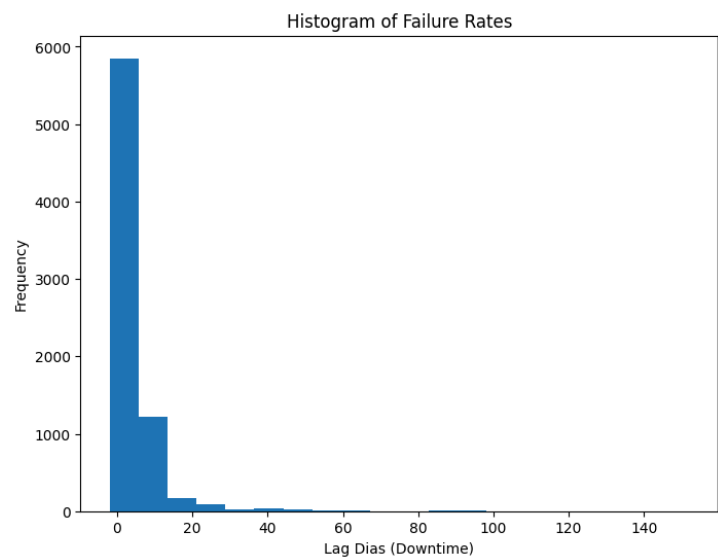
Por último se expondrá el top 10 de unidades con más mantenimientos del proyecto Sayer.

Truck id	Frecuencia
1834	780
1800	666
1805	351
1808	276
1801	190
1803	120
1799	91
D-2187	66

Tabla 11. Frecuencia de mantenimiento por ID unidad

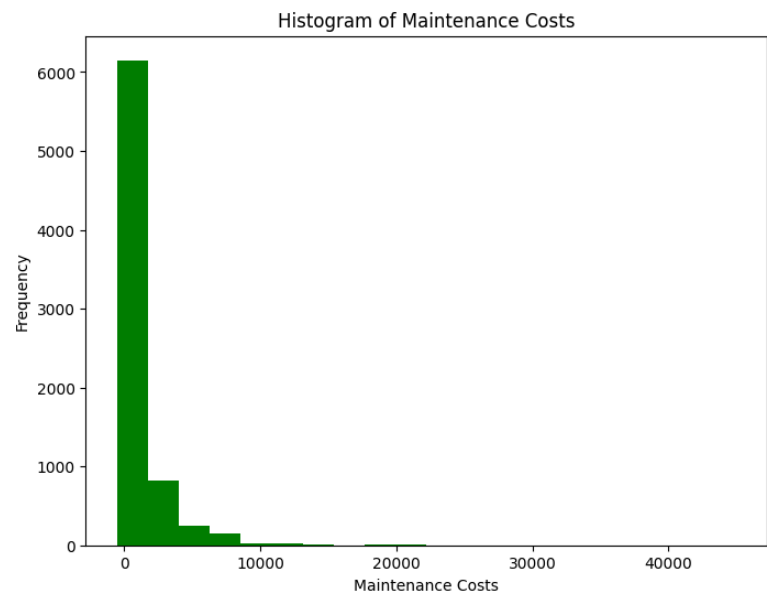
Histogramas.

A continuación se mostrarán los histogramas para las variables del failure rate, maintenance activities y maintenance cost.



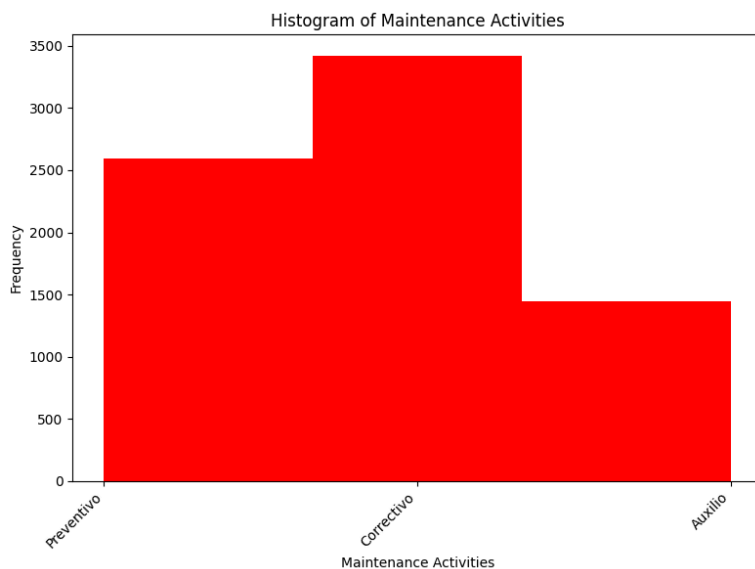
Gráfica 13. Histograma sobre tasa de fallos

Este histograma muestra la frecuencia de las tasas de fallo. La mayoría de los valores de la tasa de fallos son bajos, concentrándose cerca de 0. Esto indica que los fallos severos o frecuentes son poco comunes, mientras que la mayoría de los casos presentan tasas de fallo muy bajas, lo cual sugiere una buena fiabilidad en el sistema o equipo analizado.



Gráfica 14. Histograma de Costos de Mantenimiento

La mayoría de los costos de mantenimiento son bajos, acumulándose en el rango más bajo de la gráfica. A medida que el costo aumenta, la frecuencia disminuye considerablemente, lo que indica que los costos elevados son poco frecuentes. Esto podría significar que el mantenimiento rutinario es económico y los costos altos solo ocurren en casos excepcionales.



Gráfica 15. Histograma de Actividades de Mantenimiento

Este histograma muestra la frecuencia de distintos tipos de actividades de mantenimiento. La actividad "Correctivo" es la más común, seguida por "Preventivo". Las categorías de "Auxilio" y "Otros" tienen frecuencias menores. Esto sugiere que el enfoque principal del mantenimiento es correctivo, mientras que el preventivo y otros tipos de mantenimiento tienen menor prevalencia.

Tablas cruzadas.

A continuación se muestran los job codes con un mayor failure rate para cada tipo de mantenimiento.

Job Code (Preventivo)	Failure rate
000058 - Preventivo Llantas	762
000041 - Servicio Preventivo A - LT	539
000005 - Servicio Preventivo Caja Seca A1	458
000029 - Servicio De Lavado	303
000042 - Servicio Preventivo B - LT	152
000043 - Servicio Preventivo C - LT	95

Tabla 12. JobCodes con mayor failure rate en mantenimiento preventivo

Job Code (Correctivo)	Failure rate
000013 - Correctivo Tractos	1485
000073 - Derivado de preventivo Tracto	595
000014 - Correctivo Cajas	563
000018 - Correctivo Dolly	367
000059 - Correctivo Llantas	345
000074 - Derivado de preventivo Arrastre	56

Tabla 13. JobCodes con mayor failure rate en mantenimiento correctivo

Job code (Auxilio Vial)	Failure Rate
000061 - Daño Operativo	554
000026 - Accidente	306
000053 - Auxilio Carretero - Mecánico	262
000027 - Auxilio Carretero - Llantas	244
000062 - Daño Operativo Llanta	51
000060 - Robo	21

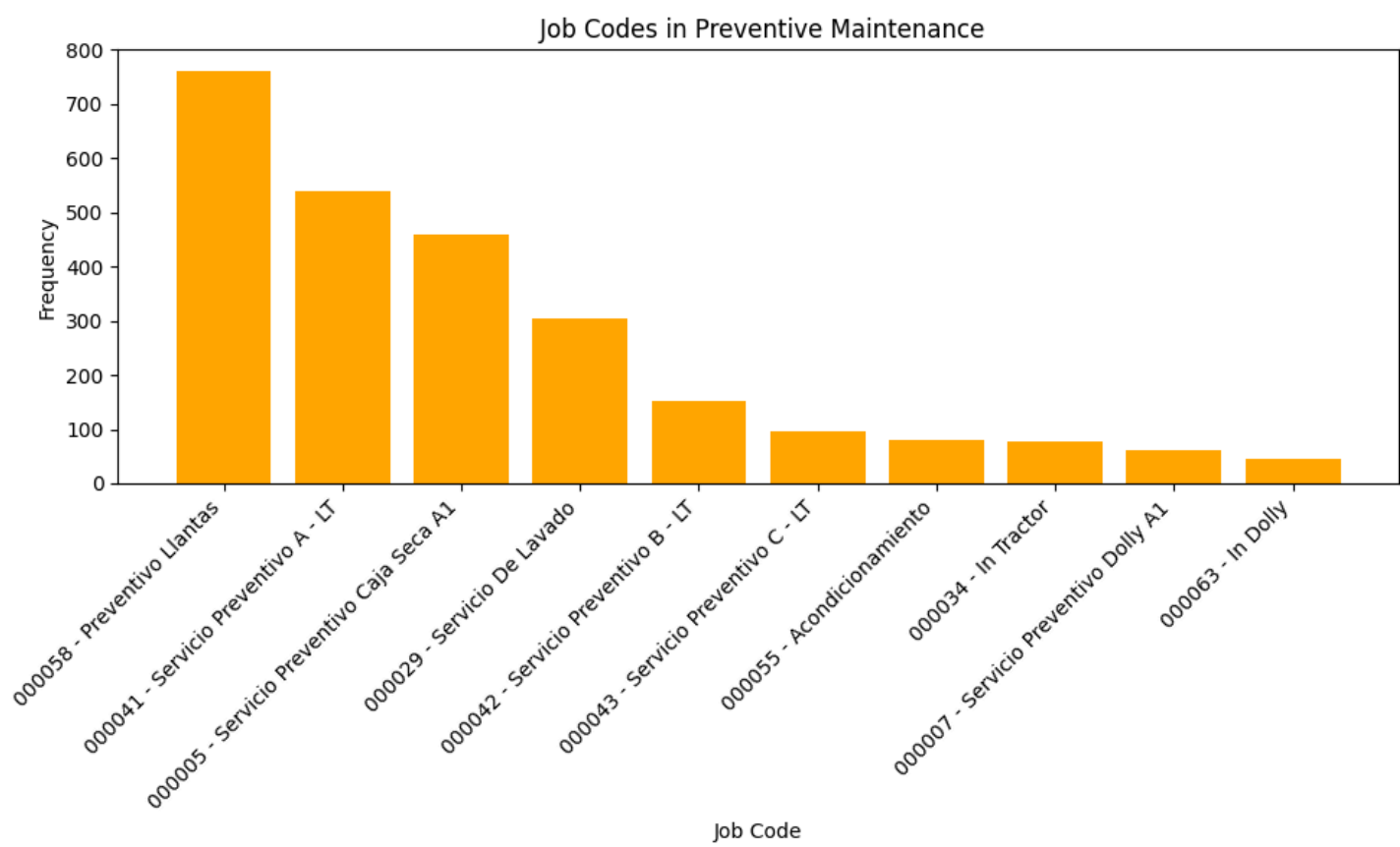
Tabla 14. JobCodes con mayor failure rate en mantenimiento auxilio vial

Unidad	Costo
1800	\$832,322.33
1805	\$779,540.27
1801	\$762,213.20
1803	\$720,656.90
1808	\$628,111.00
1799	\$624,335.61
1834	\$533,394.60
D-2172	\$154,844.77
10183	\$138,474.75
D-2168	\$131,977.56

Tabla 15. Top 10 de unidades con mayor costo de mantenimiento para la flota Sayer desde el 2022

Barcharts.

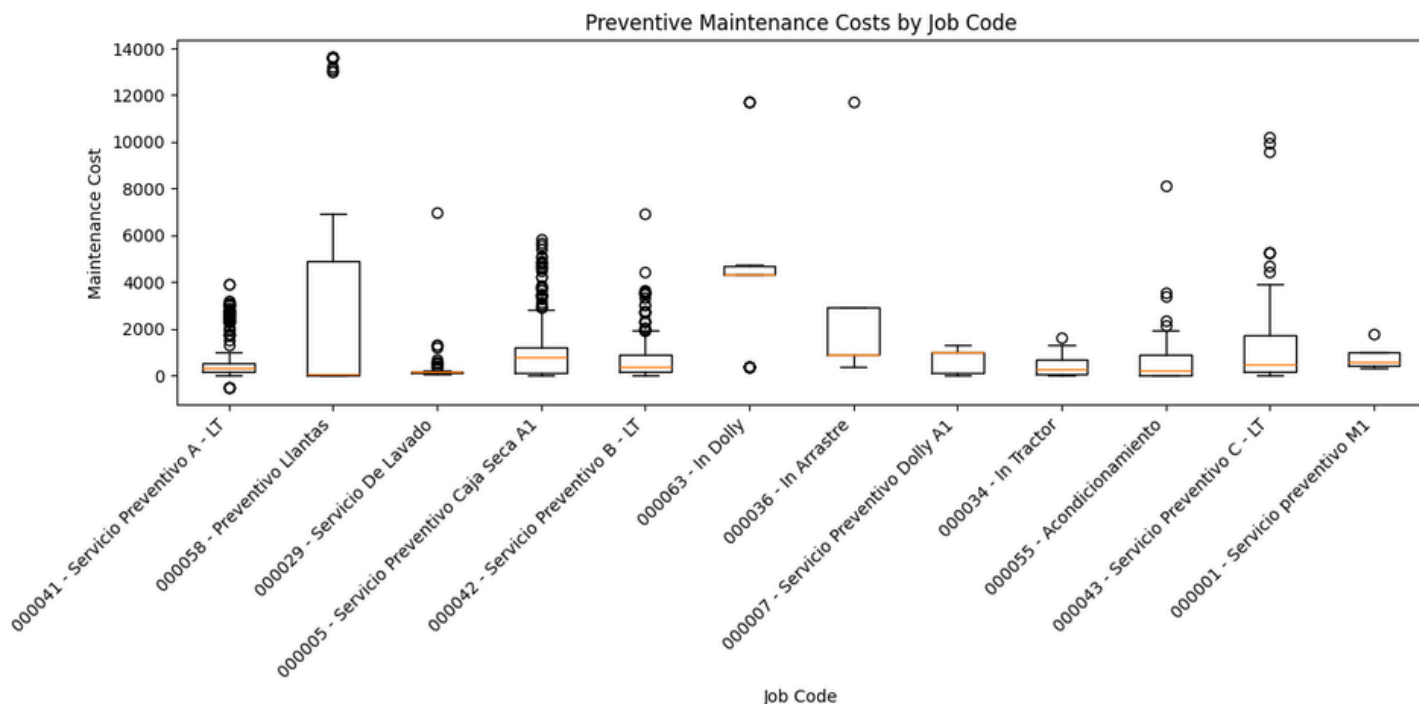
En la siguiente gráfica de barras se muestra el top 10 de jobcodes y su frecuencia, siendo el **preventivo de llantas el que se repite más** en la flota de Sayer.



Gráfica 16. Top 10 JobCodes en mantenimiento preventivo

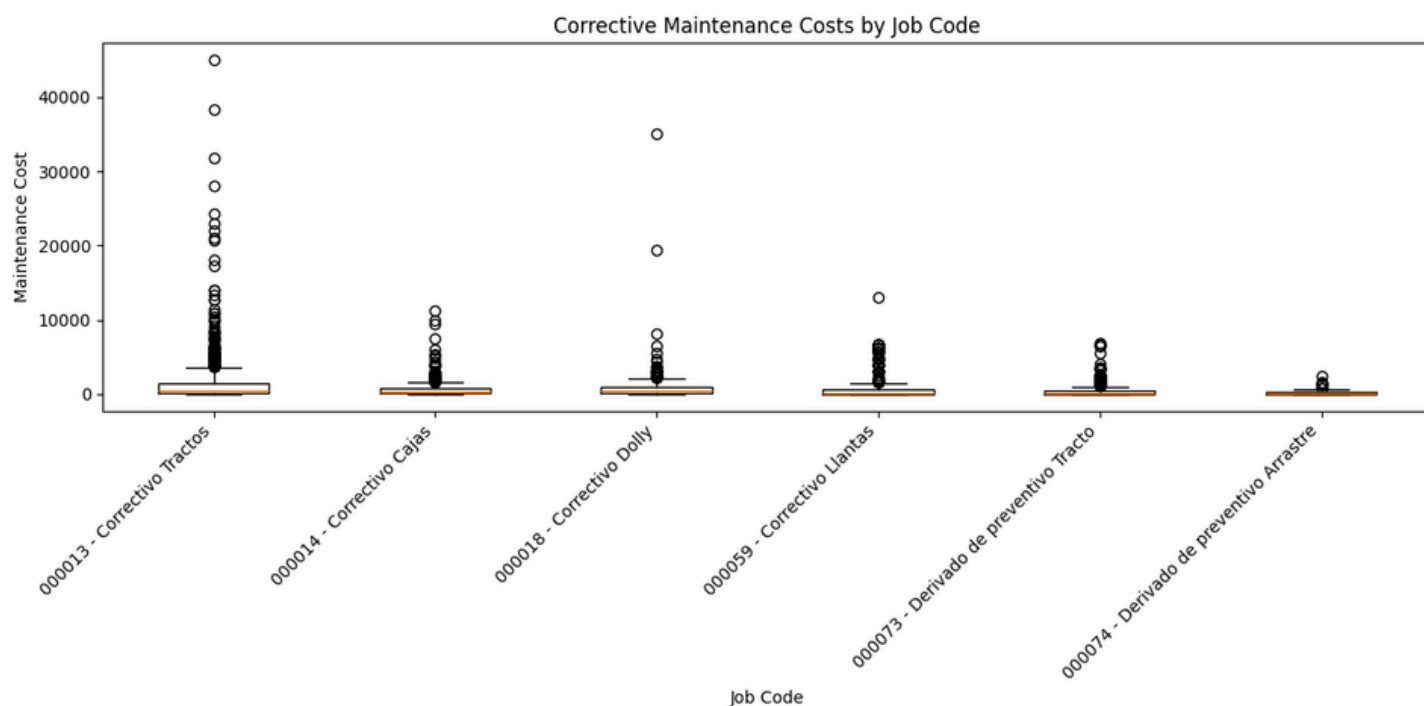
Boxplots.

A continuación se mostrarán boxplots nuevamente comparando el job code con el tipo de mantenimiento esto con el afán de saber que job code tienen un mayor número de outliers para conocer las inconsistencias al momento de hacer el mantenimiento.



Gráfica 17. Costos por JobCode en el mantenimiento preventivo

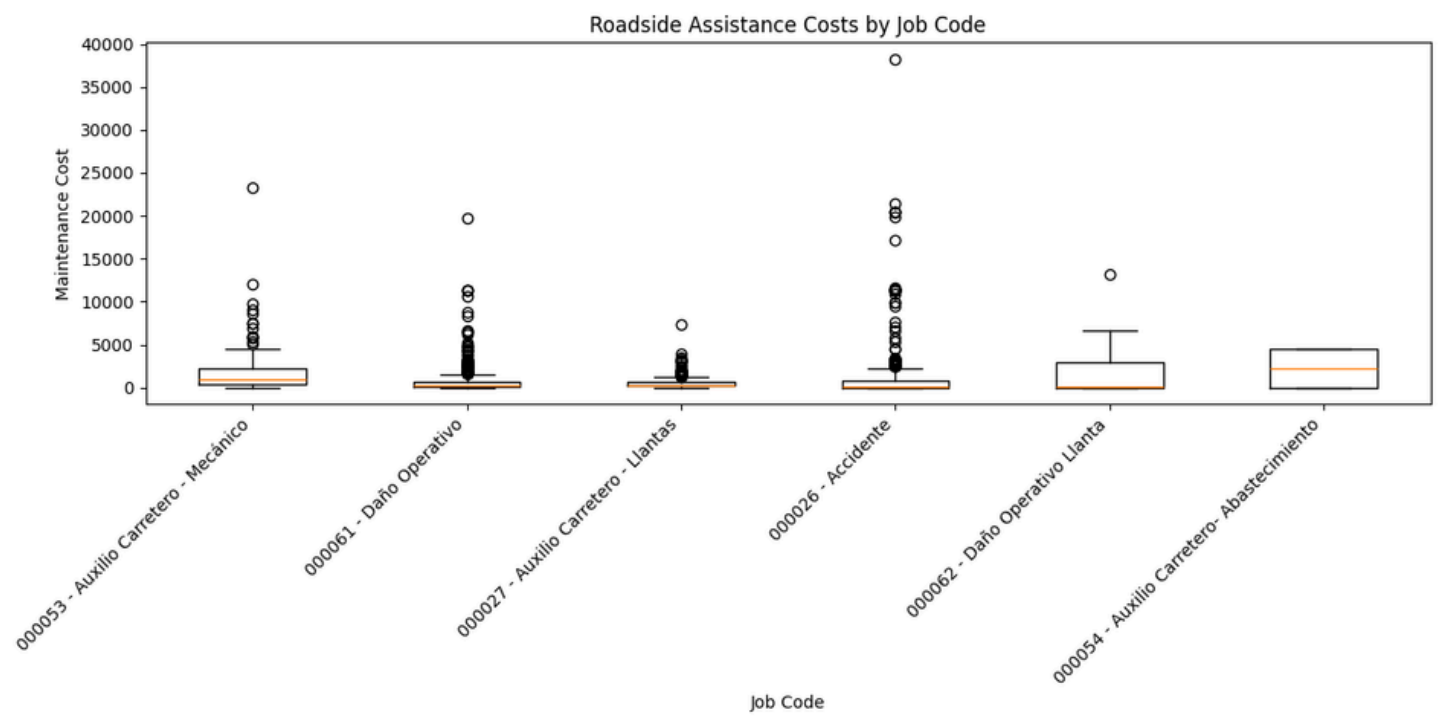
El gráfico 17 muestra los costos de distintos tipos de mantenimiento preventivo, donde la mayoría de los servicios tienen costos bajos y consistentes. Sin embargo, "Preventivo Llantas" y "In Dolly" presentan mayor variabilidad, con algunos costos más altos y valores atípicos significativos. Esto indica que ciertos servicios pueden generar gastos elevados ocasionalmente, los cuales podrían ser revisados para optimizar el presupuesto.



Gráfica 18. Costos por JobCode en el mantenimiento correctivo

Observamos que la mayoría de los costos se concentran en valores bajos, pero hay varios valores atípicos que alcanzan cifras altas, superando los 40,000 en algunos casos. Estos

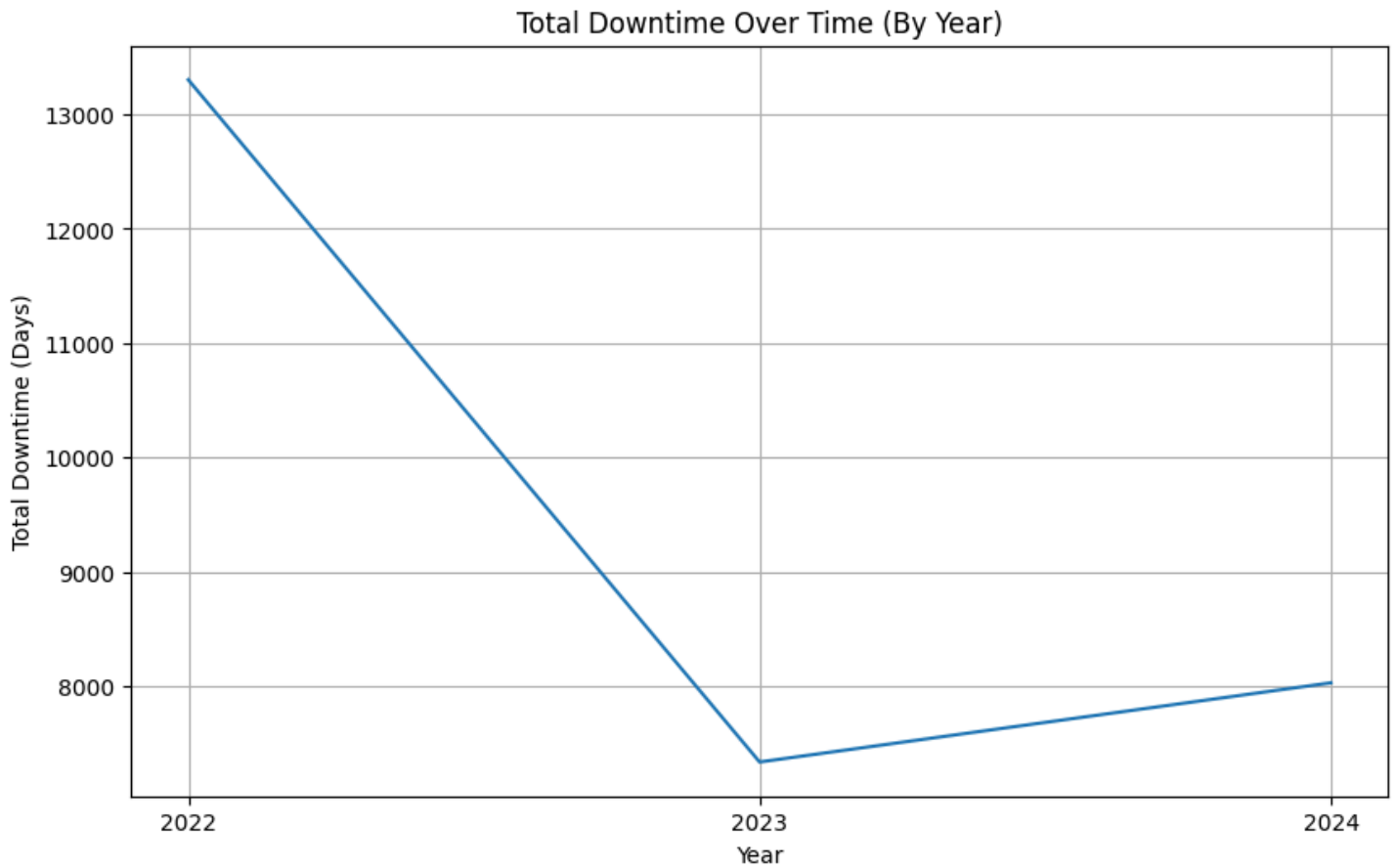
valores atípicos indican incidentes ocasionales de mantenimiento correctivo que resultan particularmente costosos.



Gráfica 18. Costos por JobCode en los auxilios viales

La mayoría de los costos se encuentran en niveles bajos, con algunos valores atípicos que superan los **30,000**. La categoría "Auxilio Carretero - Mecánico" parece tener una distribución de costos un poco más amplia en comparación con otras categorías, a puede tener más variabilidad en sus costos.

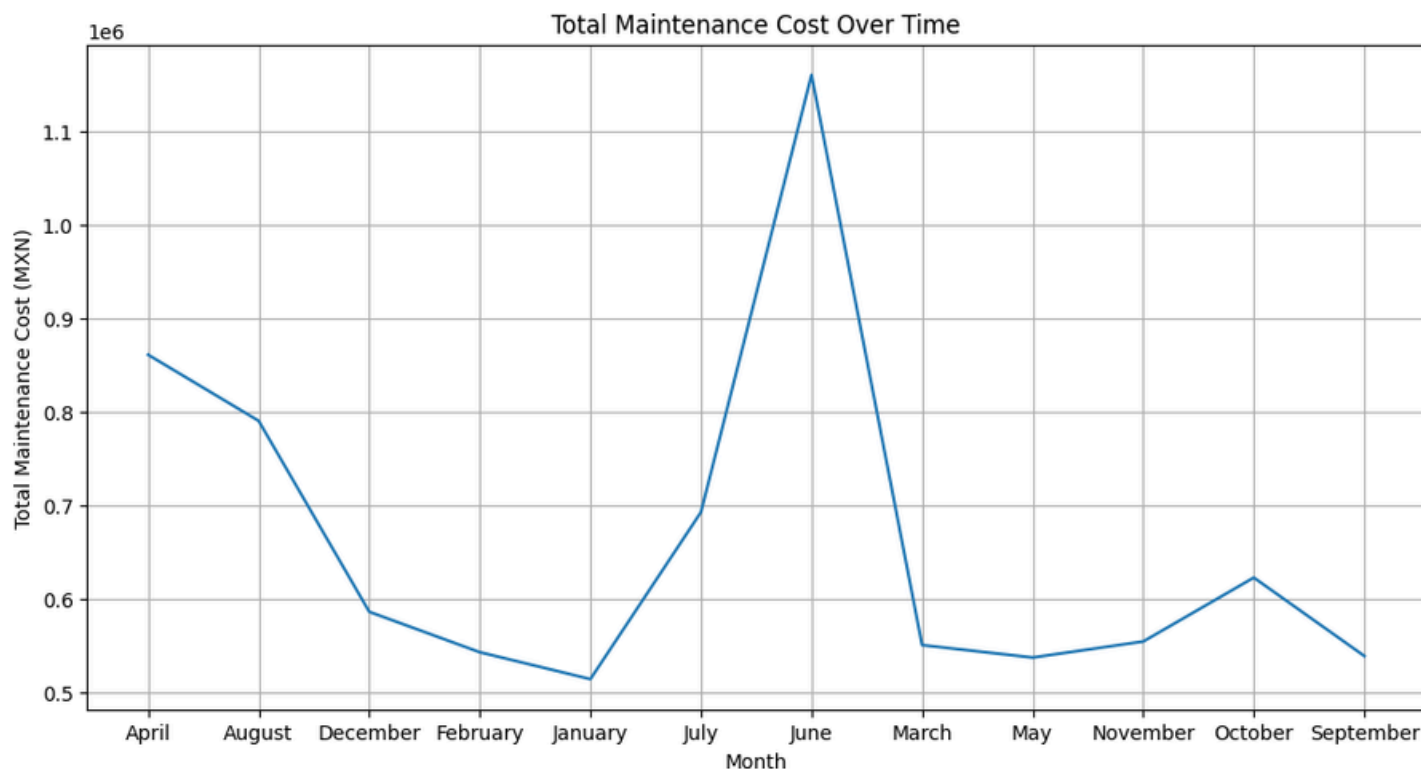
Paso 3. Trend Analysis



Gráfica 19. Tiempo total de inactividad a lo largo del tiempo (por año)

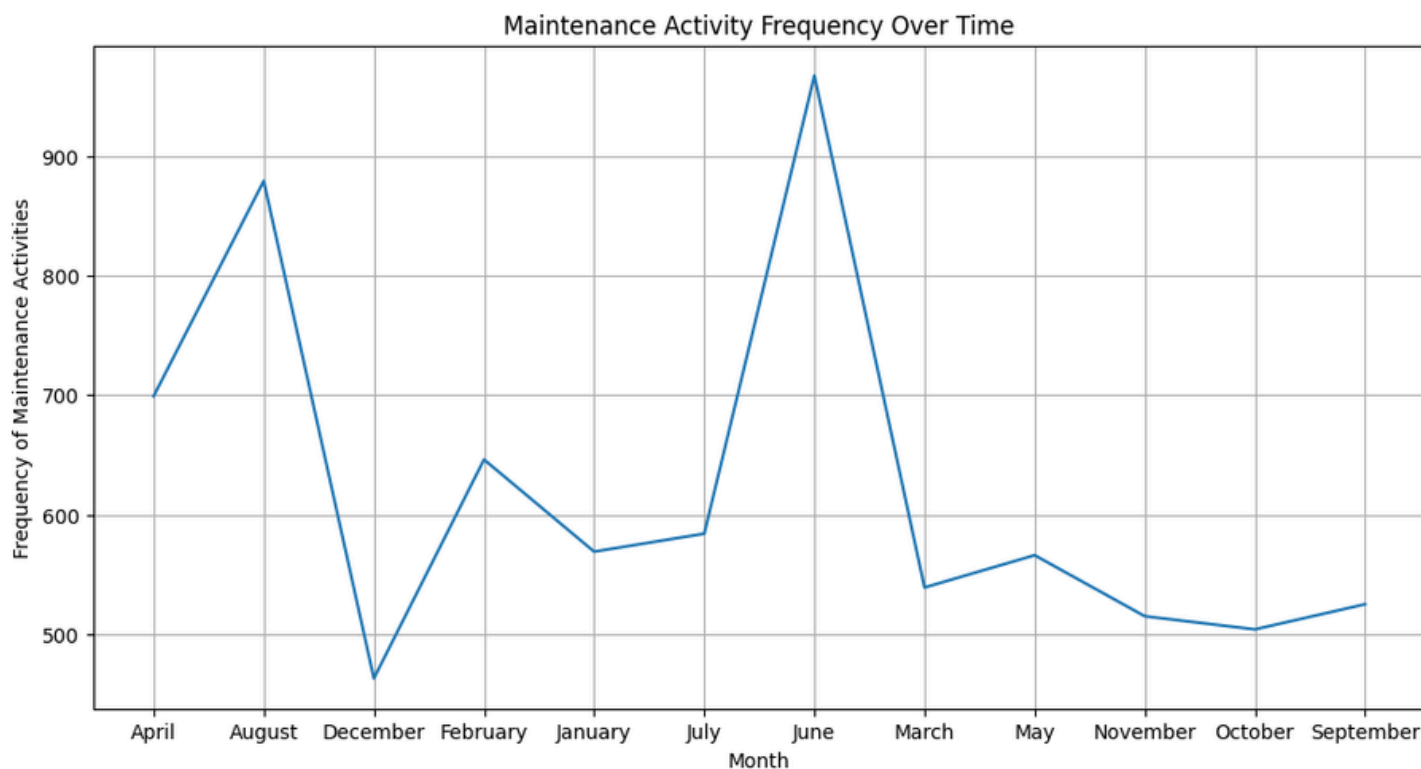
En 2022, el tiempo de inactividad fue elevado, cercano a los 13,000 días. En 2023, este tiempo disminuyó considerablemente, y aunque hubo un ligero aumento en 2024, se mantuvo significativamente por debajo del nivel de 2022. Esto podría indicar que los mantenimientos en 2023 ayudaron a reducir la necesidad de parar las operaciones, reflejando posiblemente una mejora en la eficiencia y confiabilidad de los equipos.

Gráficos adicionales de comportamiento y correlación para visualizar mejor los costos y frecuencias en el tiempo.



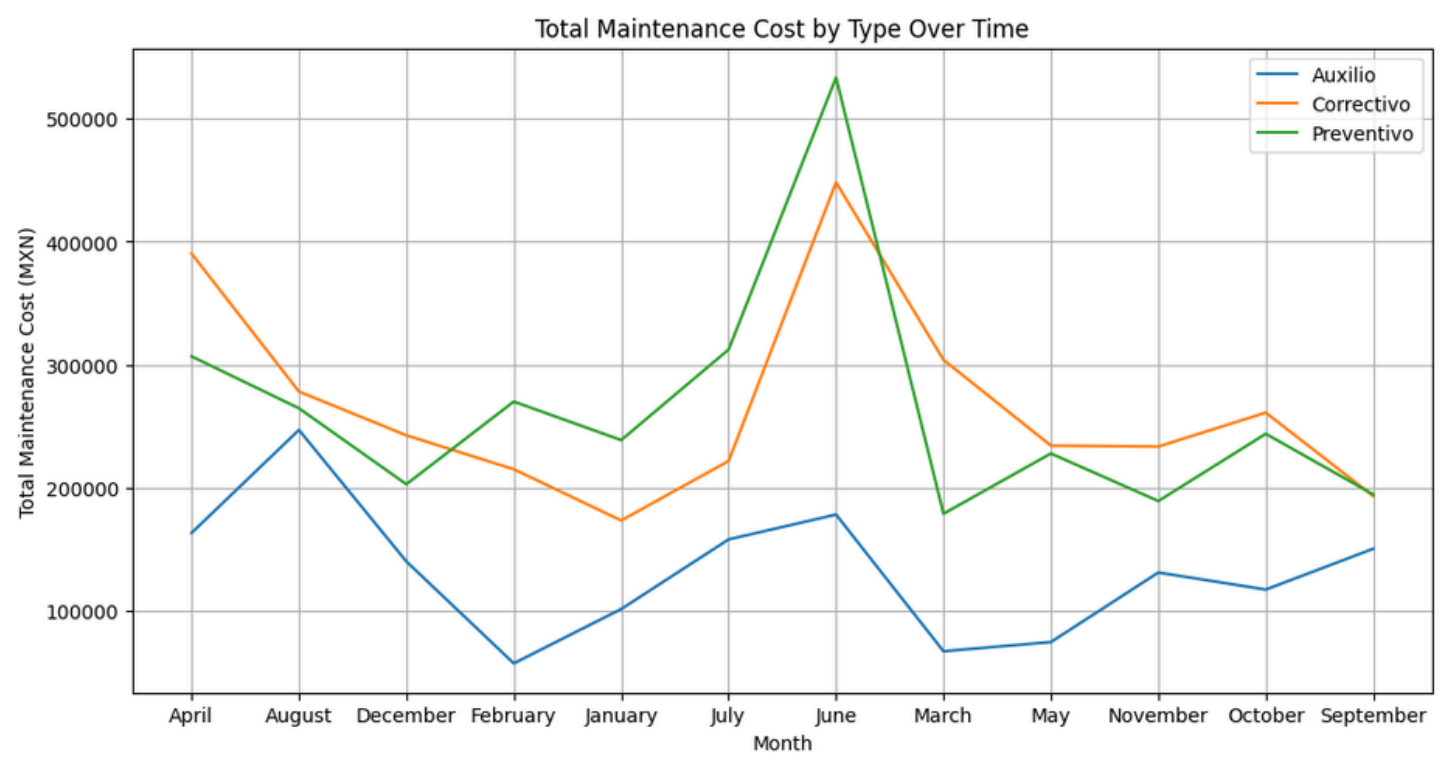
Gráfica 20. Costo total de mantenimiento por mes

En **2023, junio** se destaca como el mes con el **mayor costo de mantenimiento, alcanzando \$1,100,000 MXN**. Esto sugiere una acumulación de intervenciones correctivas, posiblemente debido a un aumento en la demanda de operaciones o retrasos en los mantenimientos preventivos. Es crucial investigar las causas específicas para prevenir picos similares en el futuro.



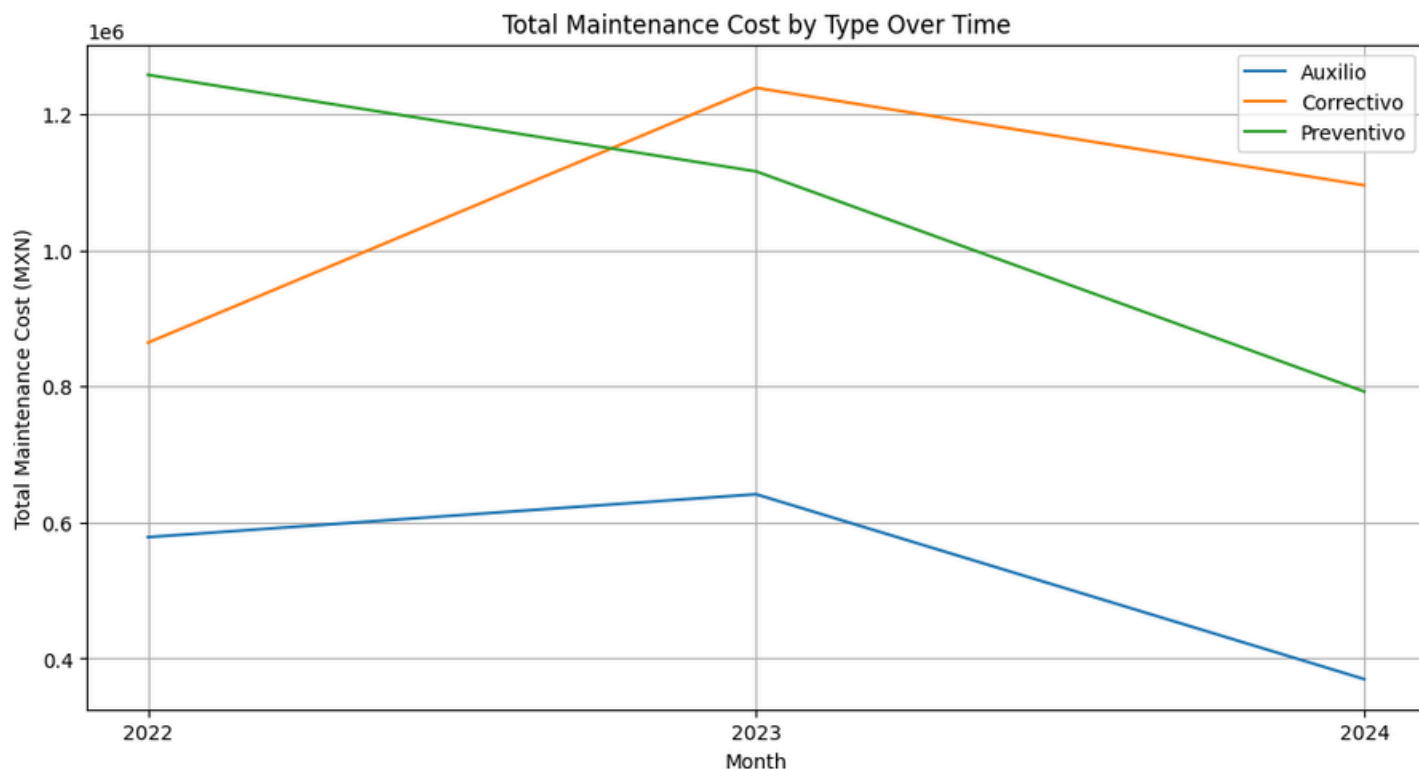
Gráfica 21. Frecuencia de mantenimiento por mes

A su vez, la gráfica anterior muestra la frecuencia total de mantenimiento que se realizó a la flota, de igual manera **Junio del 2023 realizo mas de 900 mantenimientos**.



Gráfica 22. Costo por tipo de mantenimiento por mes y por año

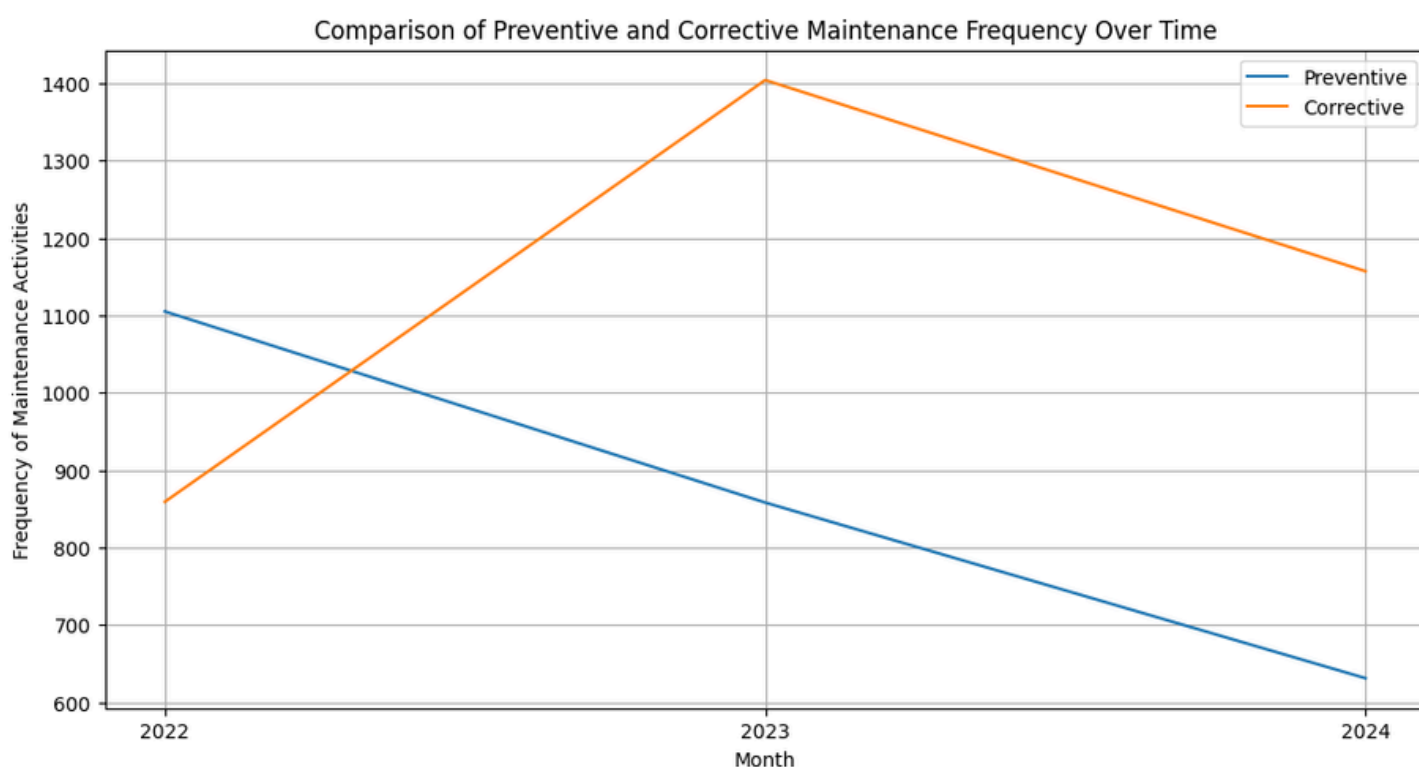
- **Auxilio:** Los costos de auxilio se mantienen consistentemente bajos en comparación con los otros tipos de mantenimiento.
- **Correctivo:** Los costos correctivos alcanzan un pico notable en junio, probablemente relacionado con una acumulación de fallas o eventos inesperados.
- **Preventivo:** Aunque los costos preventivos son relativamente constantes, también muestran picos en meses clave como junio, lo que indica mayor atención a intervenciones preventivas en períodos de alta demanda.



Gráfica 23. Costo total de mantenimiento por año a través de los años

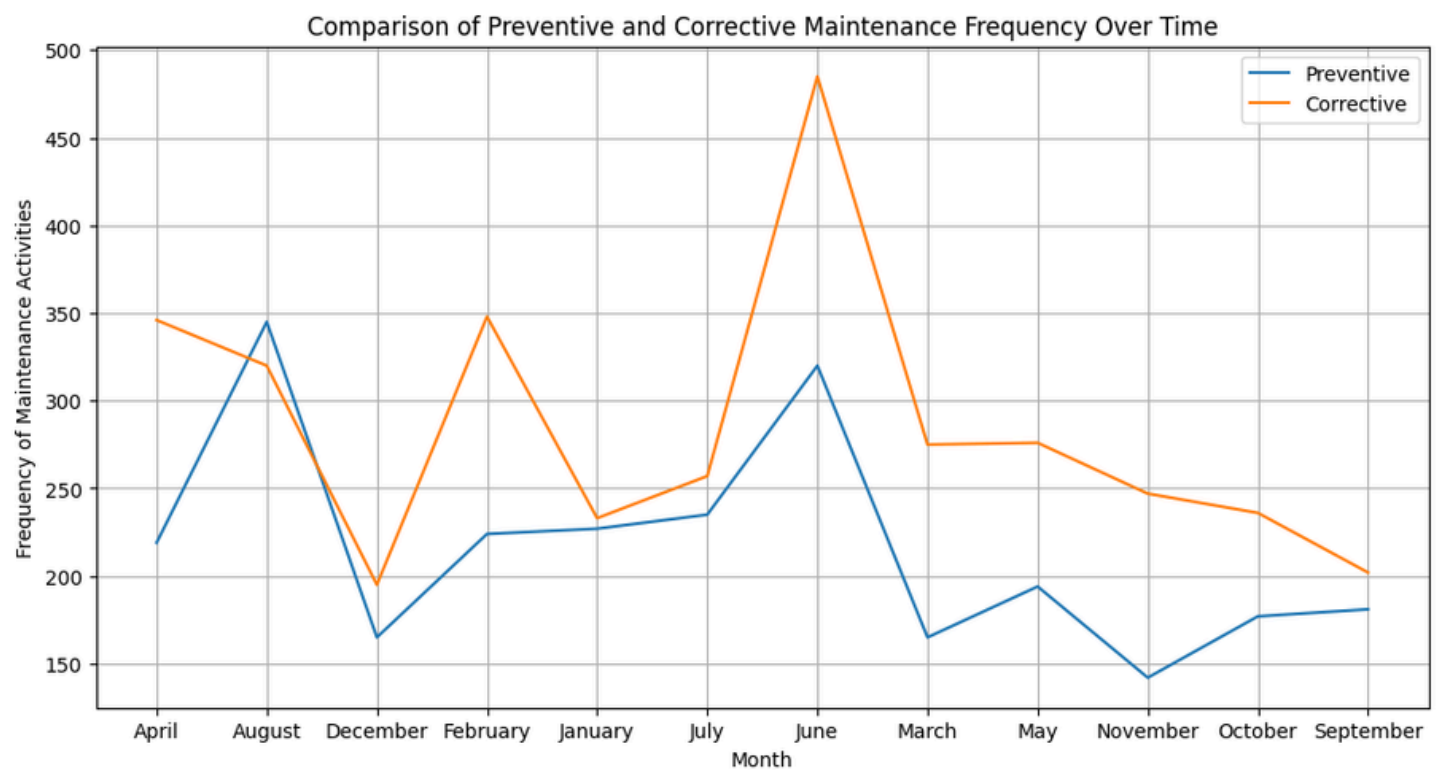
A lo largo de los años, los costos preventivos han disminuido constantemente, mientras que los correctivos muestran fluctuaciones, pero con una tendencia general a la baja. Los costos de auxilio permanecen marginales, lo que indica su bajo impacto en el presupuesto total.

Las siguientes dos gráficas muestran la frecuencia de mantenimiento dividido por el tipo de mantenimiento, la primera de ellas lo divide por año y la siguiente lo divide por mes.



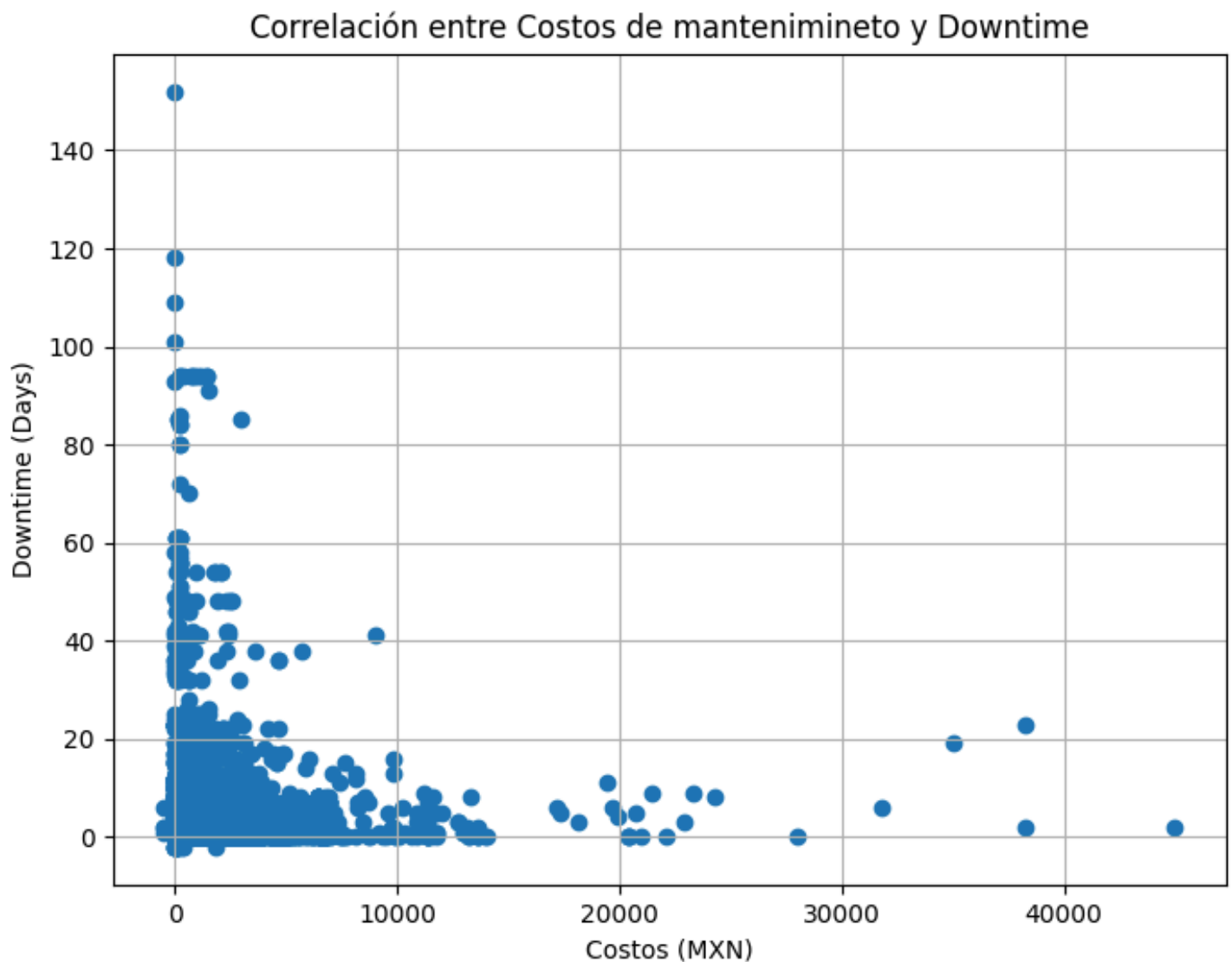
Gráfica 24. Comparación de frecuencia de mantenimientos preventivo y correctivo a lo largo de los años

En 2022, el mantenimiento correctivo es significativamente más frecuente que el preventivo. Sin embargo, en 2023, esta frecuencia aumenta, lo que sugiere una estrategia menos eficiente. En 2024, ambos tipos de mantenimiento disminuyen, pero el preventivo todavía está lejos de igualar al correctivo.



Gráfica 25. Comparación de frecuencia de mantenimientos preventivo y correctivo por meses

Durante el período analizado, los meses con mayor frecuencia de mantenimiento correctivo coinciden con periodos de alta actividad o estrés operativo. Por ejemplo, en junio se observa un pico en las actividades correctivas, mientras que el preventivo sigue patrones más estables, aunque con menor frecuencia.



Gráfica 26. Correlación costos de mantenimiento y downtime

La gráfica indica una baja correlación entre los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad, lo cual podría deberse a diferencias en los tipos de fallas o estrategias aplicadas. Esto sugiere que no siempre un mayor costo implica más tiempo fuera de operación y que ambos factores deben evaluarse por separado para identificar áreas de mejora.

No se encuentra mucha correlación entre estas dos variables ya que la mayoría de datos están centrados cuando el costo de mantenimiento es casi 0.

Redefiniendo la pregunta estadística

Con base en los estadísticos descriptivos, al analizar el mapeo de los datos históricos y las posibles variables de respuesta basado en la comparación de unidades, se observó que **los Tractos son las únicas unidades que proveen una potencial imagen del comportamiento y relación entre las variables de los eventos y los costos de mantenimiento.**

Es por eso que se decidió tomar a las **7 unidades de Sayer Full** y realizar **modelados en base a las partes/piezas registradas en los eventos.**


De los números de parte se puede agrupar por las piezas que se ocupan para eventos de tipo preventivo, correctivo y auxilio vial. La facilidad de trabajar con el número de partes radica en que no importando la clasificación de tipo de mantenimiento, el costo de la pieza sigue siendo el mismo. Es por ello que se organizaron los números de parte como se observa en la tabla x para analizar la frecuencia de uso de cada número de parte (además de la cantidad de piezas usadas por año) por tipo de mantenimiento.

NumParte	Correctivo_count	Preventivo_count	Total
Códigos	Frecuencia Correctivos	Frecuencia Preventivos	Total de piezas utilizadas


Tabla 16. Estructura del marco de datos para atribuir la frecuencia del uso de Pieza por tipo de mantenimiento

Bajo este concepto, el total es la suma de la frecuencia de piezas usadas en mantenimiento correctivo y preventivo. La esencia de un mantenimiento preventivo es reducir la cantidad de mantenimiento correctivo. Bajo esta perspectiva se especifica la mejora al mantenimiento preventivo mencionado en el enunciado del problema inicial.


Nueva pregunta estadística



El aumento en la frecuencia de mantenimiento preventivo reduce la necesidad de mantenimiento correctivo, y consecuentemente disminuye el número total de piezas consumidas




Nuevas hipótesis



Hipótesis Nula

El aumento en la frecuencia de mantenimiento preventivo no tiene un efecto significativo en la reducción de la necesidad de mantenimiento correctivo ni en la disminución del número total de piezas consumidas.



Hipótesis Alternativa

El aumento en la frecuencia de mantenimiento preventivo sí tiene un efecto significativo en la reducción de la necesidad de mantenimiento correctivo y en la disminución del número total de piezas consumidas.

Inferential Statistical Analysis

Se realizó un ANOVA de dos vías evaluando el impacto combinado de la frecuencia de intervenciones preventivas y correctivas sobre el número total de intervenciones. Esto incluye

tanto los efectos principales de las intervenciones preventivas y correctivas como su interacción. Analizar el efecto de la frecuencia de preventivos en las medida de total depende de los niveles de correctivo y viceversa. Los resultados del análisis se pueden observar en la tabla 17.

Factores e interacciones	Sum_sq	Grados de libertad	Estadístico F	P-value
C(Preventivo)	NaN	24	NaN	NaN
C(Correctivo)	NaN	27	NaN	NaN
C(Preventivo):C(Correctivo)	579650.1	648	3.621028	0.0001
Residual	3.2510-24	132		

Tabla 17. Resultados de ANOVA

Los valores NaN para los P-value de C(Preventivo) y C(Correctivo) sugieren que estos factores no muestran un efecto significativo individualmente en este análisis.

Por otro lado, el P-value de 0.0001 muestra una interacción significativa entre la frecuencia de preventivos y correctivos. Esto significa que el efecto de aumentar las intervenciones preventivas en la reducción del total de intervenciones depende del número de intervenciones correctivas y viceversa.

Insight. Dado que la interacción entre frecuencia de correctivos y preventivos (Diferencia de medias) es significativa, se considera que se ajustan tanto las intervenciones preventivas como las correctivas en conjunto para poder reducir el número total de intervenciones. No se puede incrementar de forma aislada una intervención en específico.

Después se realizó una regresión lineal múltiple colocando en el eje X a la frecuencia de preventivos y correctivos, comparando con y, el total de piezas usadas. Los resultados se observan en las figuras x,y,z.

OLS Regression Results

Dep. Variable:	total	R-squared:	1.000
Model:	OLS	Adj. R-squared:	1.000
Method:	Least Squares	F-statistic:	7.769e+32
Date:	Tue, 19 Nov 2024	Prob (F-statistic):	0.00
Time:	20:04:33	Log-Likelihood:	6165.2
No. Observations:	197	AIC:	-1.232e+04
Df Residuals:	194	BIC:	-1.231e+04
Df Model:	2		
Covariance Type:	nonrobust		

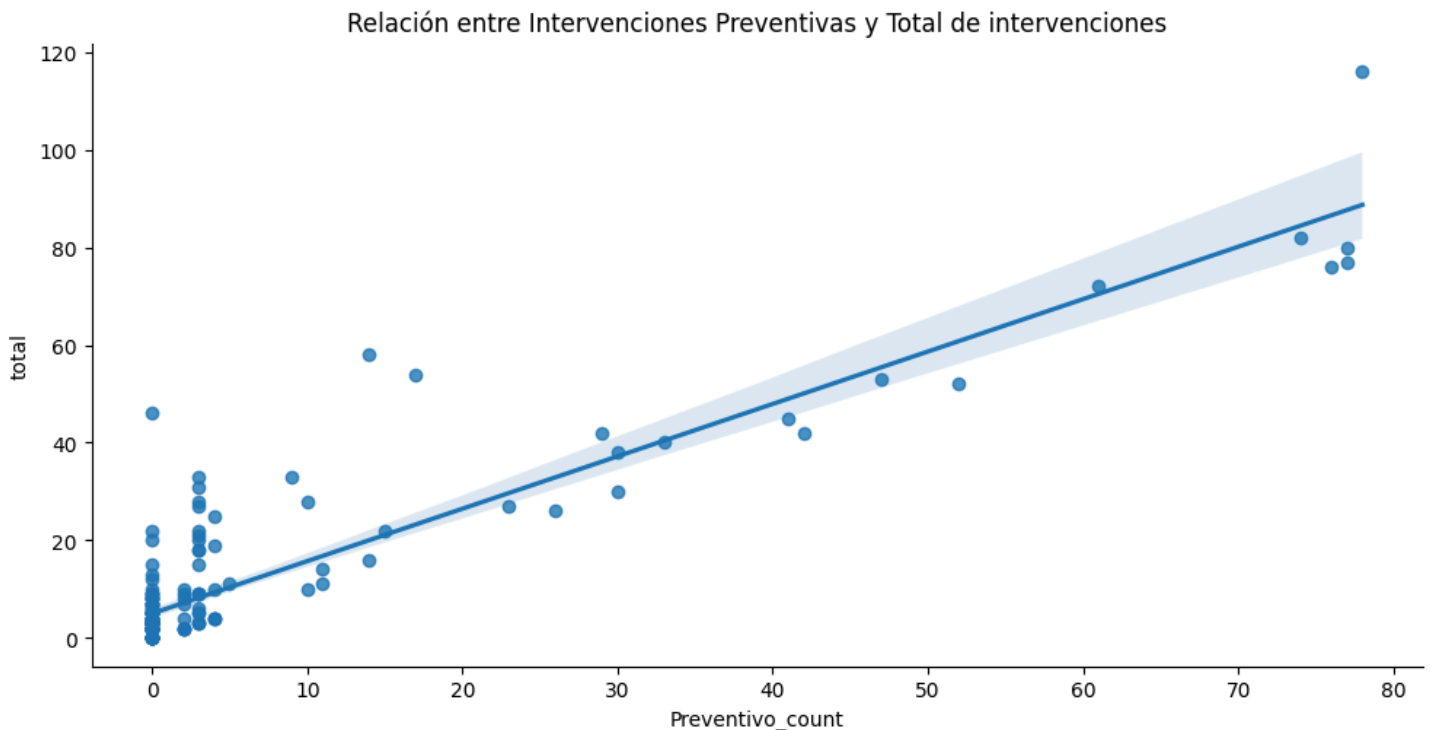
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	5.626e-15	5.55e-16	10.140	0.000	4.53e-15	6.72e-15
Preventivo_count	1.0000	3.05e-17	3.28e+16	0.000	1.000	1.000
Correctivo_count	1.0000	5.89e-17	1.7e+16	0.000	1.000	1.000

Omnibus:	106.062	Durbin-Watson:	0.457
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	507.922
Skew:	-2.126	Prob(JB):	5.08e-111
Kurtosis:	9.618	Cond. No.	19.9

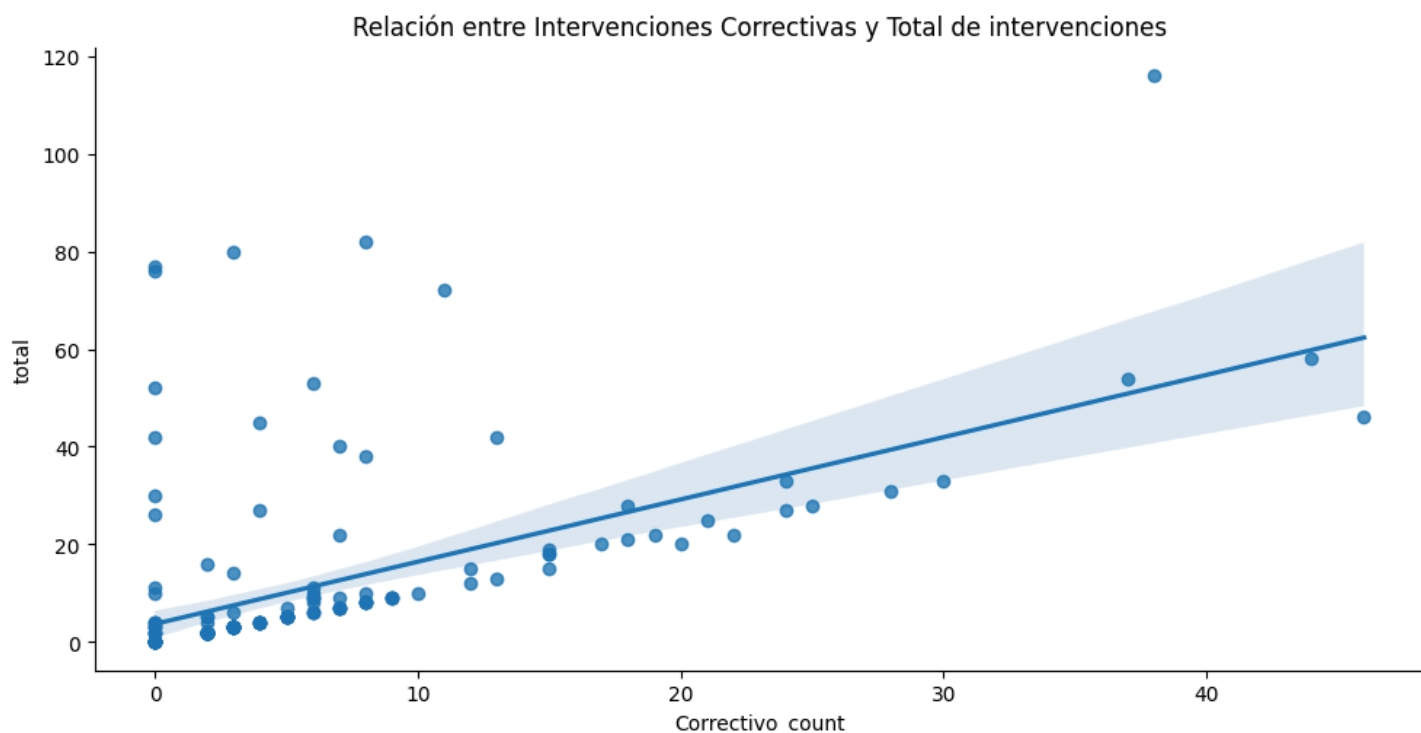
Notes:

[1] Standard Errors assume that the covariance matrix of the errors is correctly specified.

Imagen 2. Resultados de regresión lineal múltiple



Gráfica 27. Regresión lineal de relación entre preventivos y total de intervenciones



Gráfica 28. Regresión lineal de relación entre correctivos y total de intervenciones

	Coeficientes (coef)	Errores Estándar (std err)	Estadísticos (t) y valores P
Constante (const)	5.62610-15	-	t=10.140 P=0.000
Preventivo	1	3.0510-17	t= 3.281016P=0.000
Correctivo	1	5.8910-17	t=1.71016 P=0.000

Tabla 18. Resumen de resultados de regresión lineal múltiple

Todos los valores P **son extremadamente bajos**, lo que indica que los coeficientes son estadísticamente significativos.

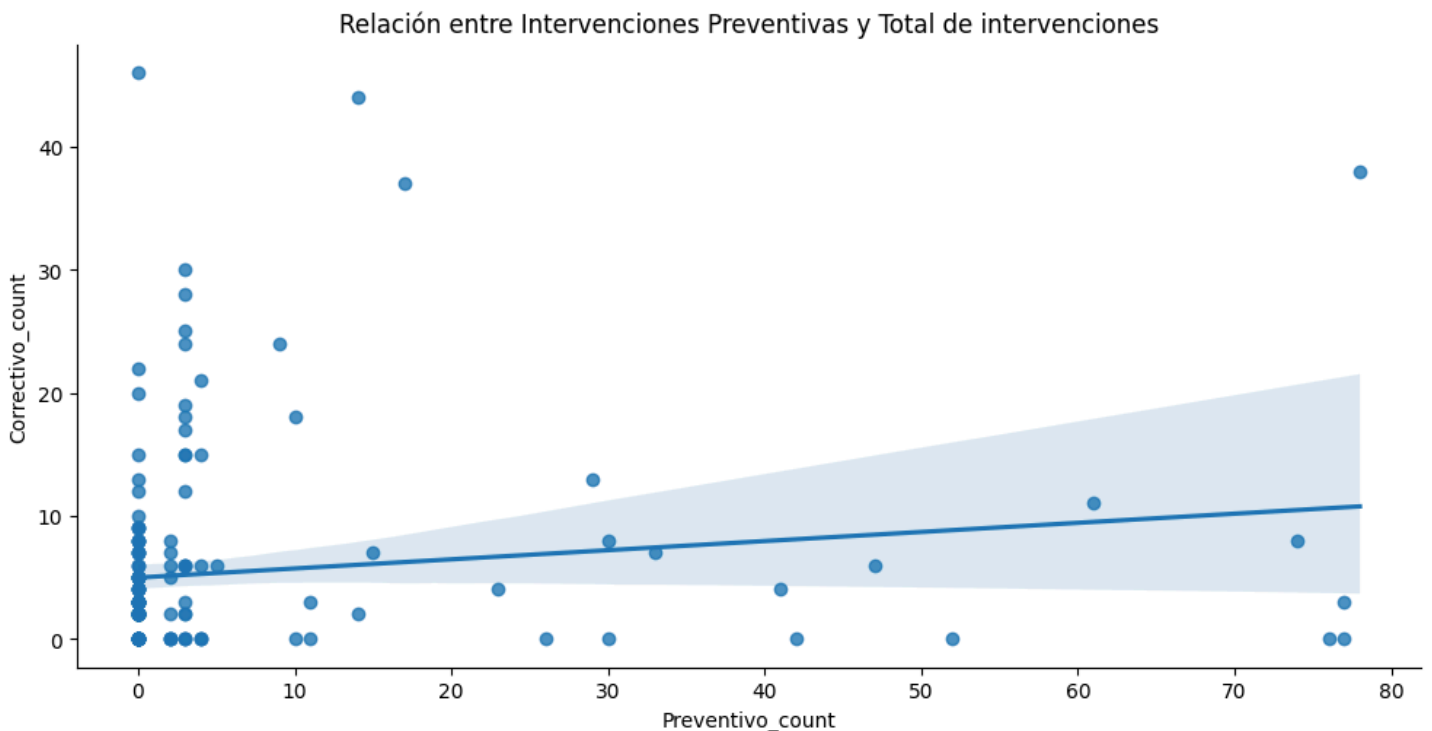
En cuanto a los coeficientes de la frecuencia de preventivos y correctivos, al ser de 1, **indica una relación lineal con total**. Las intervenciones preventivas como las correctivas tienen un impacto igual y significativo en el total de intervenciones, es lógico, sin embargo es necesario analizar la regresión lineal de los preventivos y los correctivos. Los resultados de la regresión entre correctivos y preventivos se observa en la tabla x. y la figura x, donde se observa una R cuadrada de 0.021 y un coeficiente muy bajo, de 0.07 para preventivos

OLS Regression Results

Dep. Variable:	Correctivo_count	R-squared:	0.021
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.015
Method:	Least Squares	F-statistic:	4.082
Date:	Tue, 19 Nov 2024	Prob (F-statistic):	0.0447
Time:	21:55:40	Log-Likelihood:	-678.00
No. Observations:	197	AIC:	1360.
Df Residuals:	195	BIC:	1367.
Df Model:	1		
Covariance Type:	nonrobust		
=====			
	coef	std err	t
			P> t
			[0.025
			0.975]

const	4.9744	0.573	8.679
Preventivo_count	0.0742	0.037	2.020
			0.000
			0.045
			3.844
			0.002
			6.105
			0.147
=====			
Omnibus:	137.541	Durbin-Watson:	2.078
Prob(Omnibus):	0.000	Jarque-Bera (JB):	942.949
Skew:	2.774	Prob(JB):	1.74e-205
Kurtosis:	12.170	Cond. No.	16.5
=====			

Imagen 3. Resultados de análisis de regresión lineal simple



Gráfica 29. Gráfica de regresión lineal simple

Insights generales

- Los tractos de 2021 son los que más representan un costo de mantenimiento. Viendo la tabla de Track id y de Failure rate se puede observar que las unidades 1800, 1805, 1801, 1803, 1808 son las que tiene más rate de fallas, revisando la información todas coinciden

ser tractos del año 2021 por lo cuál se podría tener en observación todas las unidades del 2021 para encontrar la causa raíz del elevado costo de mantenimiento.

- Hay inconsistencias en los mantenimientos. Revisando los boxplots se puede ver que distintos job codes tiene outliers cuando se compara con el costo de mantenimiento, esto se debe a que hay inconsistencias al momento de asignar los costos o no se sigue un manual estandarizado que les ayude a los operadores a realizar el mismo mantenimiento para todas las unidades, cabe recalcar que en los 3 tipos de mantenimiento se encuentran estos outliers. Para revertir esta situación se debería checar en taller con los mecánicos para saber su proceso de captura de información y su forma de trabajar.
- Los mantenimientos correctivos son más frecuentes para la flota de Sayer. En la tabla de frecuencias se puede observar que los mantenimientos correctivos tienen una mayor frecuencia a comparación de los otros tipos de mantenimientos por lo cual la flota tiene más probabilidad de fallar en un viaje, para esto se debe de revisar si los mantenimientos preventivos se han realizado en el tiempo adecuado y se debe de tener un mayor enfoque en los tractos y en las cajas ya que sus job codes de correctivo son los que más fallas tienen.

Inferential Statistical Analysis

Paso 1. Regression Analysis.

For maintenance costs

Las variables utilizadas para la regresión son: jobcode, ID de los camiones, tipo de vehículo y downtime. Una vez hecho la regresión múltiple se puede observar en el resultado de la r cuadrada que las variables utilizadas dentro de la regresión sólo podrán explicar el 8% de la variabilidad de la variable dependiente en este caso el subtotal, lo cual equivale a los costos de mantenimiento.

OLS Regression Results			
Dep. Variable:	SUBTOTAL	R-squared:	0.082
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.072
Method:	Least Squares	F-statistic:	8.433
Date:	Thu, 07 Nov 2024	Prob (F-statistic):	6.84e-88
Time:	22:27:01	Log-Likelihood:	-67660.
No. Observations:	7456	AIC:	1.355e+05
Df Residuals:	7377	BIC:	1.360e+05
Df Model:	78		
Covariance Type:	nonrobust		

Imagen 4. Resultados de análisis de regresión múltiple

For downtime

Las variables utilizadas para la regresión son: jobcode, ID de los camiones, tipo de vehículo y costo de mantenimiento. De igual manera se revisó el resultado de la r cuadrada y se observó que las variables utilizadas en la regresión múltiple sólo explicarían el 11% de variabilidad en la variable dependiente que es el lagdías, esta variable es la que contiene los datos del downtime.

OLS Regression Results			
Dep. Variable:	lagdias	R-squared:	0.117
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.108
Method:	Least Squares	F-statistic:	12.52
Date:	Thu, 07 Nov 2024	Prob (F-statistic):	2.04e-144
Time:	22:42:20	Log-Likelihood:	-26014.
No. Observations:	7456	AIC:	5.219e+04
Df Residuals:	7377	BIC:	5.273e+04
Df Model:	78		
Covariance Type:	nonrobust		

Imagen 5. Resultados de análisis de regresión simple

ANOVA (Analysis of Variance)

Al ver los resultados de la ANOVA , el p value es un valor muy pequeño por lo cual la hipótesis nula se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa las cual explica que las medias por costo por tipo de unidad son diferentes entre sí, al ser una ANOVA no se especifica cuales son iguales por lo cual se debería repetir el proceso con cada tipo de unidad.

	sum_sq	df	F	PR(>F)
TipoUnidad	2.012939e+08	2.0	20.812782	9.688831e-10
Residual	3.604139e+10	7453.0	NaN	NaN

Imagen 6. Resultados de la ANOVA

Análisis de ANOVA con comparaciones específicas entre tipos de unidad

El análisis con el método de Tukey HSD muestra diferencias significativas entre algunos de los grupos comparados. Entre DOLLY y TRACTOR, se observa una diferencia promedio de 209.69, con un p value de 0.0152, lo que indica que esta diferencia es estadísticamente significativa. Por otro lado, al comparar DOLLY y TRAILER, la diferencia promedio es de -153.54, pero el p values es 0.1398 por lo cuál no es significativo, ya que el intervalo de confianza (-343.36 a 36.28) incluye el cero, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre estos dos grupos. Finalmente, entre TRACTOR y TRAILER, se encuentra una diferencia promedio de -363.23, con un p value de 0.0000, indicando una diferencia altamente significativa. En resumen, hay diferencias significativas entre DOLLY y TRACTOR, y entre TRACTOR y TRAILER, pero no entre DOLLY y TRAILER.

Multiple Comparison of Means – Tukey HSD, FWER=0.05

group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
DOLLY	TRACTOR	209.6915	0.0152	32.6612	386.7219	True
DOLLY	TRAILER	-153.5413	0.1398	-343.3601	36.2776	False
TRACTOR	TRAILER	-363.2328	0.0	-496.9708	-229.4949	True

	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
0	DOLLY	TRACTOR	209.6915	0.0152	32.6612	386.7219	True
1	DOLLY	TRAILER	-153.5413	0.1398	-343.3601	36.2776	False
2	TRACTOR	TRAILER	-363.2328	0.0000	-496.9708	-229.4949	True

Imagen 7. Análisis de ANOVA con comparaciones específicas entre tipos de unidad

Conduct Tests

Al revisar los resultados de la regresión múltiple y analizar los p-values al estos ser menores de 0.05 se debe rechazar la hipótesis nula, por lo cual el tipo de mantenimiento si tienen un impacto significativo en la reducción de costos de mantenimiento.

Conclusiones generales y recomendaciones

El análisis estadístico de la base de datos permitió identificar que el mantenimiento preventivo es clave para reducir la frecuencia y el costo de las intervenciones correctivas, mejorando la fiabilidad de la flota. Sin embargo, los tractos del año 2021 representan un desafío significativo debido a sus altas tasas de fallas y costos. Aunque se observó una mejora en la eficiencia general durante 2024, persisten inconsistencias en los procesos de mantenimiento, reflejadas en costos atípicos y variabilidad en la asignación de recursos.

Se concluye que es crucial priorizar estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo, estandarizar los procesos, y enfocarse en las unidades más problemáticas. Esto permitirá optimizar los recursos y garantizar una operación más eficiente y confiable de la flota.

Además, es fundamental redistribuir las actividades preventivas hacia los meses de mayor carga operativa, como junio, para reducir picos de costos y frecuencia. Además, fortalecer la capacitación del personal será clave para identificar y resolver problemas de manera más proactiva. Finalmente, sugerimos realizar un monitoreo continuo de costos y frecuencias, acompañado de una revisión periódica de las estrategias implementadas, asegurando la sostenibilidad de los resultados a largo plazo.

Conclusiones individuales.

Alma Cecilia Alvarado Molina	A nivel proyecto, el análisis destaca la importancia de priorizar mantenimientos preventivos para reducir costos y evitar fallas inesperadas. Es fundamental mejorar la calidad del registro de datos para eliminar inconsistencias y facilitar el seguimiento de patrones en las unidades. De forma general, este proyecto me permitió comprender el impacto del análisis estadístico en la toma de decisiones estratégicas.
Rubén Daniel López Suárez	Este análisis nos permitió hacer una estrategia de mejora al mantenimiento predictivo y atacar directamente a los costos de mantenimiento. Al enfocarnos y entender la relación de las fallas y el tipo de mantenimiento, pudimos relacionar las variables y entender cómo se comportan. Es necesario para otros análisis similares, el empezar a hacer una limpieza de los datos pues ayuda y reduce mucho el tiempo de análisis de la información.
Adrián Hinojosa del Peral	Los resultados reflejan que la estandarización en los procesos de mantenimiento es necesaria para evitar valores atípicos y mejorar la eficiencia. Además, se recomienda crear una nueva base de datos con un checklist de revisión por partes.
Diego Jiménez Ortega	Este documento me permitió conocer más a fondo la estadística descriptiva para TDR, con esto pude empezar a idear insights que en futuras entregas me ayudaran a poder dar una solución de valor que ayude a reducir los costos de mantenimiento, con los resultados se pueden dar recomendaciones a TDR y el equipo puede saber en qué prestar atención a su vez se recomienda aplicar machine learning para ver las predicciones y verificar que la solución presentada sea adecuada.