UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

Modelo de regresión logística múltiple y su aplicación en los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de los Camiones Cat-785c – del Proyecto Pierina - CMBM, 2012

Tesis para Optar el Título de:

Licenciado en Estadística e Informática

Bach. Minaya Carrión Christian Oscar
Bach. Alvaron Robles Dennis Gabriela

Asesor: Mág. Asnate Salazar Edwin

HUARAZ ANCASH - PERÚ

2013

DEDICATORIA

A Dios, a esas personas importantes en mi vida, con todo mi cariño y mi amor para ustedes que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y apoyarme, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado, con todo mi cariño está tesis se las dedico a ustedes: Alberto Alvaron Castillo, Luzmila Robles Morales, y Albert Alvaron Robles.

Dennis Gabriela Alvaron Robles

A Dios quien en sus misteriosas designaciones universales me permitió culminar esta etapa de mi vida, a mi madre Edelmira, por su apoyo y cariño incondicional, a mi padre Oscar, por su confianza y optimismo en el futuro. A mi hermano Yuri, por las largas horas de discusiones de ideas, a mi hermanita Dhayana, que siempre está presente con su ternura y afecto, a mis abuelos que siempre quisieron una familia cada vez mejor, a todos ellos con mucho cariño.

Christian Oscar Minaya Carrión.

.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento para los docentes de la UNASAM y particularmente los docentes de la escuela de Estadística e Informática de la Facultad de Ciencias en especial al Profesor Edwin Asnate Salazar, por su dedicación y valioso tiempo en asesorarnos y a nuestro estimado Profesor Roger Norabuena Figueroa, por su apoyo incondicional , al Ing. Randy Córdova por su apoyo al brindarnos la facilidad del ingreso y manejo de la información para nuestra tesis, a nuestras familias y finalmente, el agradecimiento a todos nuestros amigos, quienes de una u otra forma nos brindaron su apoyo para realizar nuestra Tesis en Estadística.

Los Autores.

INDICE DE CONTENIDO

1. EL PROBLEMA…….. 18

1.1. Selección del Problema……....19

1.2. Justificación del Estudio……...21

1.3. Objetivos de la Investigación……....23

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL…… 24

2.1. Antecedentes del problema…..……..25

2.2. Planteamiento Teórico Atingentes.……...35

2.2.1. Bases Teóricas…….35

2.2.2. Definición de Términos……...91

3. HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES...…….....95

3.1.Hipótesis……..……..…96

3.2.Operacionalización de variables……..……..…96

4. METODOLÓGIA…….99

4.1.Materiales y Lugar de Ejecución...…….. 100

4.1.1. Lugar…….……....100

4.1.2. Materiales…….…….100

4.1.3. Recurso Humano..……...…..100

4.2. Métodos…….……..101

4.2.1. Diseño……101

4.2.2. Población o Universo…….101

4.2.3. Unidad de Análisis y Muestra……101

4.2.4. Instrumentos de recolección de Datos……...102

4.2.5. Técnicas de análisis Estadísticos……102

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS ……..130

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES……... 277

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS…….. 281

8. ANEXOS……...……283

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites condenatorios de Caterpillar, Cummins y Detroit……30

Tabla 2. Límites normalmente aceptados en la industria para motores a diésel…..……31

Tabla 3. Niveles del aceite a 6000 kilómetros o 400 horas en equipo……34

Tabla 4. Características del motor Cat 3512BUI…….64

Tabla 5. Velocidades del camión Cat 785c a través de la transmisión……70

Tabla 6. Elementos contaminantes presentes en el aceite. …….……81

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……...132

Tabla 8. Área bajo la curva ROC de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C……..133

Tabla 9. Estadísticos descriptivos del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento…….....140

Tabla 10. Área bajo la curva ROC del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C…….…145

Tabla 11. Estadísticos descriptivos de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……...148

Tabla 12. Área bajo la curva ROC de la Viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...……149

Tabla 13. Estadísticos descriptivos del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……156

Tabla 14. Área bajo la curva ROC del contenido de Fierro en los Camiones Caterpillar 785C……157

Tabla 15. Estadísticos descriptivos del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……164

Tabla 16. Área bajo la curva ROC del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C……...…165

Tabla 17. Estadísticos descriptivos del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento…….172

Tabla 18. Área bajo la curva ROC del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C……173

Tabla 19. Estadísticos descriptivos del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento…….180

Tabla 20. Área bajo la curva ROC del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C……181

Tabla 21. Estadísticos descriptivos del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento…….188

Tabla 22. Área bajo la curva ROC del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C……189

Tabla 23. Estadísticos descriptivos del contenido de Aluminio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……196

Tabla 24. Área bajo la curva ROC del contenido de Aluminio en los Camiones Caterpillar 785C……...…197

Tabla 25. Estadísticos descriptivos del contenido de Níquel en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……204

Tabla 26. Área bajo la curva ROC del contenido de Níquel en los Camiones Caterpillar 785C……..…….205

Tabla 27. Estadísticos descriptivos del contenido de Silicio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……..….212

Tabla 28. Área bajo la curva ROC del contenido de Silicio en los Camiones Caterpillar 785C……..213

Tabla 29. Estadísticos descriptivos del contenido de Boro en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……220

Tabla 30. Área bajo la curva ROC del contenido de Boro en los Camiones Caterpillar 785C…….…...…221

Tabla 31. Estadísticos descriptivos del contenido de Sodio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……228

Tabla 32. Área bajo la curva ROC del contenido de Sodio en los Camiones Caterpillar 785C……...…229

Tabla 33. Estadísticos descriptivos del contenido de Magnesio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento…….236

Tabla 34. Área bajo la curva ROC del contenido de Magnesio en los Camiones Caterpillar 785C…….237

Tabla 35. Estadísticos descriptivos del contenido de Vanadio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……244

Tabla 36. Área bajo la curva ROC del contenido de Vanadio en los Camiones Caterpillar 785C……...……245

Tabla 37. Estadísticos descriptivos de los indicadores adicionales del sistema de motor en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento……252

Tabla 38. Área bajo la curva ROC de los indicadores adicionales del sistema de motor en los Camiones Caterpillar 785C……253

Tabla 39. Codificación de la Variable Dependiente en los sistemas por lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……261

Tabla 40. Pruebas Omnibus sobre los coeficientes de los modelos estimados…….262

Tabla 41. Resumen de bondad de ajuste de los modelos estimados…….263

Tabla 42. Prueba de Hosmer y Lemeshow de los modelos estimados……..264

Tabla 43. Tabla de Clasificación de los modelos estimados…….264

Tabla 44. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema Diferencial……..265

Tabla 45. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema Hidráulico……266

Tabla 46. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Mandos……..267

Tabla 47. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Ruedas…….268

Tabla 48. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Transmisión…….269

Tabla 49. Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el Motor……270

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Camión Cat 785c……..57

Figura 2: Motor Camión Cat 785c……...63

Figura 3: Sistema de Transmisión Camión Cat 785……68

Figura 4: Esquema del diferencial……...71

Figura 5: Sistema de Mandos Camión Cat 785c…….…73

Figura 6: Diagrama del Flujo del Aceite - Camión Cat 785c…….77

Figura 7: Sistema Hidráulico - Camión Cat 785c…….…...78

Figura 8. Curva ROC de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C……137

Figura 9. Diagrama de Cajas de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……...…138

Figura 10. Curva ROC del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C……..…….145

Figura 11. Diagrama de Cajas del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……...146

Figura 12. Curva ROC de la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……153

Figura 13. Diagrama de Cajas de la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……..…154

Figura 14. Curva ROC del contenido de fierro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...161

Figura 15. Diagrama de Cajas del contenido de fierro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……162

Figura 16. Curva ROC del contenido de cromo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C…….169

Figura 17. Diagrama de Cajas del contenido de cromo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……..170

Figura 18. Curva ROC del contenido de plomo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...177

Figura 19. Diagrama de Cajas del contenido de plomo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……..178

Figura 20. Curva ROC del contenido de cobre en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...185

Figura 21. Diagrama de Cajas del contenido de cobre en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……186

Figura 22. Curva ROC del contenido de estaño en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...193

Figura 23. Diagrama de Cajas del contenido de estaño en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……....194

Figura 24. Curva ROC del contenido de Aluminio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...201

Figura 25. Diagrama de Cajas del contenido de Aluminio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……...202

Figura 26. Curva ROC del contenido de Níquel en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...…209

Figura 27. Diagrama de Cajas del contenido de Níquel en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……..…….210

Figura 28. Curva ROC del contenido de Silicio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C…….217

Figura 29. Diagrama de Cajas del contenido de Silicio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……218

Figura 30. Curva ROC del contenido de Boro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...225

Figura 31. Diagrama de Cajas del contenido de Boro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……226

Figura 32. Curva ROC del contenido de Sodio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C……...233

Figura 33. Diagrama de Cajas del contenido de Sodio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……234

Figura 34. Curva ROC del contenido de Magnesio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C…….241

Figura 35. Diagrama de Cajas del contenido de Magnesio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……..…242

Figura 36. Curva ROC del contenido de Vanadio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C…….249

Figura 37. Diagrama de Cajas del contenido de Vanadio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento……...250

Figura 38. Curva ROC de los indicadores adicionales del sistema de motor de los Camiones Caterpillar 785C…….259

Figura 39. Diagrama de Cajas de los indicadores adicionales del sistema de motor de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento…260

ABSTRACT

This thesis work by design is not experimental correlational descriptive and was aimed factors influencing maintenance lubricant Trucks CAT 785C the Pierina Project - MBM. By applying multiple logistic regression. This 23968 records from 2008 to 2011, from which all study variables were collected was obtained.

The results show that the variables of the differential protection system is the viscosity , the content of tin and boron , to the system controls only the viscosity , for the wheel system viscosity and the aluminum content , and the system content engine chromium, tin and nickel , as well as the percentage of soot . Furthermore, the risk factors for the differential system were the iron and copper content , for the hydraulic system the content of iron , lead, silicon and sodium , for the system controls the content of iron , copper, silicon and sodium wheel system for the contents of iron , copper, nickel , silicon, and sodium , for the transmission system of the contents of iron, copper, silicon , sodium, and lead, and for the engine system oil hours , the of lead , aluminum, silicon , sodium, magnesium and the proportion of diesel .

Keywords: Maintenance for lubricant, logistic regression.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis según su diseño es no experimental, de tipo descriptivo correlacional, tiene por finalidad determinar los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del Proyecto Pierina – MBM. Mediante la aplicación de la regresión logística múltiple. Para ello se obtuvo 23968 registros del año 2008 al 2011, de las cuales se recopilaron todas las variables de estudio. Los resultados obtenidos muestran que las variables de protección para el sistema diferencial son la viscosidad, el contenido de estaño y boro, para el sistema de mandos sólo la viscosidad, para el sistema de ruedas la viscosidad y el contenido de aluminio, y para el sistema de motor el contenido de cromo, estaño y níquel, así como el porcentaje de hollín. Por otro lado, los factores de riesgo; para el sistema diferencial fueron el contenido de fierro y cobre; para el sistema hidráulico el contenido de fierro, plomo, silicio y sodio; para el sistema de mandos el contenido de fierro, cobre, silicio y sodio; para el sistema de ruedas el contenido de fierro, cobre, níquel, silicio y sodio; para el sistema de transmisión el contenido de fierro, cobre, silicio, sodio y plomo; y para el sistema de motor las horas de aceite, el contenido de plomo, aluminio, silicio, sodio, magnesio y el porcentaje de diésel.

Palabras Clave: Mantenimiento por lubricante, regresión logística.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el mantenimiento es una actividad que tiene no solamente un impacto directo sobre la capacidad productiva de un proyecto, sino que es un elemento clave para alcanzar unas condiciones de seguridad y de protección medioambiental acordes con las políticas de desarrollo sostenibles de la empresa. Es por tanto y desde todo punto de vista, una actividad que adquiere un papel preponderante en la viabilidad de un proyecto o de una empresa.

El presente trabajo de tesis es el resultado final de haber realizado pacientemente el proceso de recopilación de información, codificación, generación de la base de datos, análisis e interpretación y estimación de los modelos de regresión logística sobre los factores asociados al mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del Proyecto Pierina – MBM, para ello se dedicó mucho tiempo y esfuerzo.

Con éste trabajo de tesis realizado se pretende determinar los factores que inciden en el mantenimiento o no de una unidad vehicular como son los Camiones CAT 785C del Proyecto Pierina – MBM, con la finalidad de conocer las características de deberán tomarse en cuenta en forma multivariada para la decisión de ingresar a mantenimiento o no.

Para ello en el capítulo 1, se resalta el problema de la falta de conocimiento de los factores que ponen en riesgo a los Camiones CAT 785C del Proyecto Pierina – MBM.

En el capítulo 2, se muestran antecedentes, en la que resaltan las características e indicadores de cada uno de los sistemas que entran en contacto con el lubricante en los Camiones CAT 785C del Proyecto Pierina – MBM. Además, se desarrolla las teorías relacionadas a dichos temas.

En el capítulo 3, se presenta la hipótesis del presente trabajo de tesis, en la que se resalta que los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de los camiones Cat-785C– del proyecto Pierina CMBM, son significativos.

En el capítulo 4, se detallan aspectos metodológicos del presente trabajo de investigación. Así, el lugar de ejecución fue el área de mantenimiento del proyecto Pierina de la compañía minera Barrick Misquichilca S.A. Presenta un diseño de investigación no experimental, de tipo descriptivo correlacional, con una población de 23968 registros entre los años 2008 al 2011, y las que posteriormente fueron procesados con el paquete SPSS versión 20.0, y fueron analizados mediante los modelos de regresión logística.

En el capítulo 5, se muestran los resultados de las variables medidas en cada uno de los sistemas de los vehículos estudiados.

Finalmente, en el capítulo 6, se concluye indicando los factores de protección y de riesgo que conllevan al mantenimiento de los vehículos.

CAPÍTULO I
EL PROBLEMA

1. EL PROBLEMA

1.1. SELECCIÓN DEL PROBLEMA

Durante los últimos años las operaciones en Pierina han sido afectadas por paradas significativas en los equipos mineros de transporte de carga, las cuales han estado relacionadas con las horas de paradas por reparación. La consecuencia de estas paradas afecta la disponibilidad y confiabilidad de las flotas lo cual se traduce en un menor volumen de acarreo de carga por tanto en gastos (costos).

El presente trabajo de investigación científica, se realiza con la finalidad de disminuir los altos costos de mantenimiento al que recurren los camiones Caterpillar, siendo esta una actividad continua en la búsqueda de los factores que influyen en el mantenimiento de los camiones Caterpillar 785C que sirvan a la Compañía Minera Barrick Misquichilca S.A para elevar su estándar de vida y solucionar los problemas existentes de dichos camiones en su debido tiempo.

Según De Bona Numcia y J.M. (2007, p. 135), El Análisis de Aceite Lubricante "es una técnica, considerado como un método de mantenimiento indispensable que permite saber qué está ocurriendo en el interior del camión minero" y de acuerdo a Rubén Eduardo Klimasauskas (1996, p. 4, 8), El Mantenimiento (…), "No basta con hacer las tareas de mantenimiento

correctamente, sino que esas tareas de mantenimiento deben ser las correctas", (…) "el mantenimiento afecta los resultados de una empresa".

En el área de mantenimiento se toman muestras de los lubricantes de los camiones Caterpillar 785C, los cuales son analizados en los laboratorios y siendo guardadas en los registros las siguientes características: cantidad de Fierro, Cromo, Plomo, Cobre, Estaño, Aluminio, Níquel, Silicio, Boro, Sodio, Magnesio, Vanadio, todos estos componentes con la unidad ppm (partículas por millón), el grado de viscosidad (cts) , horas del lubricante en el sistema(h), ya sea en el sistema Diferencial, Hidráulico, Mandos, Motor, Ruedas y Transmisión; a dicha información no se le da la importancia debida y tampoco es utilizada como medio determinante para el mantenimiento, solo para fines de conocimiento general, estadísticas e índices generales y otros.

Si a esos datos se le aplicara un análisis estadístico, este nos conllevaría a disminuir los altos costos de mantenimiento de la compañía minera ayudando a detectar rápidamente problemas de los sistemas, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante, el cual se determinara con el análisis estadístico encontrando un modelo adecuado mediante la regresión logística múltiple, los cuales serán respaldados en una serie de análisis periódicos y continuos, con lo cual se puede establecer una tendencia y controlarlos estadísticamente. Es necesario analizar este problema con todos los factores que influyen en los resultados obtenidos de la muestra de los lubricantes de los camiones Caterpillar 785C al finalizar el horario de trabajo diario, el

análisis podrá identificar algunos aspectos críticos que pueden ser abordados por el área de mantenimiento de los camiones Caterpillar 785C, para dar solución al problema vigente.

De no disminuir las paradas de los camiones mineros, el área de mantenimiento podría afrontar un delicado problema, afectando la disponibilidad y confiabilidad de las flotas elevando tiempo y costos por mantenimiento, lo cual perjudicará a la producción y organización en general. De acuerdo a lo mencionado, nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de los camiones Cat-785C del proyecto Pierina – CMBM, 2012?

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Hoy en día la competitividad minera pasa por varios factores claves: calidad, costo, tiempo y productividad. Para ello se requiere invertir en nuevas tecnologías y en bienes de capital (maquinarias nuevas de última generación, automatizaciones más eficaces y nuevos métodos) y en mejorar los recursos ya existentes efectuando reconversiones o modificaciones de los mismos.

Trabajar con la información estadística y el uso de los modelos de regresión logística para el área de mantenimiento de las unidades de maquinaria pesada (Camión Caterpillar 785C), dicha área de la compañía minera Barrick Misquichilca S.A. Por lo tanto, es importante que la estadística se incorpore en la formulación de políticas y directivas en área de mantenimiento, para ser

aprovechadas al máximo, garantizando que la información generada sea útil, no solamente para la compañía minera Barrick Misquichilca S.A. sino también para otras empresas mineras o profesionales de áreas afines.

A pesar de que estos camiones tengan sistemas de control interno como el sistema VIMS (Sistema de Control de las Funciones vitales) estos no pueden predecir en el tiempo ya que funcionan cuando la falla ya está presente o es inminente.

En tanto esta investigación es muy importante porque aportará información necesaria para el área de mantenimiento; por lo que se elevará la eficiencia de las diferentes funciones que se realiza en la prevención de la falla de los camiones caterpillar y a mejorar el funcionamiento continuo de los camiones. Además es conveniente para la entidad minera, porque los resultados de la investigación contribuirán a que el personal del área de mantenimiento identifique los factores de riesgo, que conlleva a la falla de los camiones caterpillar; de esa manera se podrá disminuir el riesgo de las fallas y paradas de los camiones caterpillar 785c.

Queda abierta la posibilidad de ampliar y mejorar los conocimientos en esta área.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. GENERAL

Determinar los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM. Mediante la aplicación de la regresión logística múltiple.

1.3.2. ESPECÍFICOS

- Determinar las características de protección que influyen en el mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM.
- Determinar las características de riesgo que influyen en el mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM.
- Modelar mediante regresión logística las características asociadas al mantenimiento por lubricante de Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Los modelos estadísticos en el sector empresarial son una herramienta para la decisión de políticas y directivas como una forma de prevención dentro de esto resaltan los siguientes trabajos de investigación relacionados:

PELAYO RODRÍGUEZ (Perú, 2011), en su investigación, factores socioculturales y estilos de vida de la persona adulta – Huaraz, concluyo: Los factores de protección identificados que favorecen a un estilo de vida saludable a los adultos mayores son: la minoría de edad, el género femenino, la ocupación de empleado y el grado de instrucción de secundaria completa ah más y los factores de riesgo identificados que desfavorecen a un estilo de vida saludable a los adultos mayores del distrito de Huaraz son: el consumo inadecuado de agua al día, la no practica de las recomendaciones del personal de salud, la no participación en actividades que fomentan la buena salud y los hábitos de beber y fumar por parte de los adultos.

SILVIA CELESTINO Y JENNY NORABUENA (Perú, 2006), en su investigación, factores que influyen en la deserción escolar en los colegios estatales a nivel secundario de menores en la zona urbana de los distritos de Huaraz e Independencia, concluyeron: Los factores que se consideraron relevantes fueron; el factor económico, de las cuales 9 variables(material de vivienda, condición de vivienda, numero de habitación en la vivienda,

conexión de los servicios higiénicos de la vivienda, servicios tecnológicos, tipo de trabajo de los padres, trabajo renumerado de los alumnos, numero de aportantes en la vivienda y el ingreso promedio mensual de la vivienda) con el análisis de regresión logística realizado mostraron que si influyen en la deserción de los alumnos y solo 4 variables(alumbrado de la vivienda, abastecimiento de agua, tipo de vivienda y conservación de la vivienda) resultaron no influir en la deserción de los alumnos en el nivel secundario; el factor familiar se consideraron 7 variables, de las cuales 4 variables influyen en la deserción del alumno (convivencia con los padres, grado de instrucción del padre, grado de instrucción de la madre y hermanos que desertaron), mientras que 3 variables(número de hermanos, importancia de los estudios secundarios y problemas de salud) no influyen, factor social se consideraron 6 variables(problemas con la justicia, participación en pandillas, consumo de cigarrillos, consumo de alcohol, consumo de drogas y relación con los compañeros de estudio) de las cuales ninguna influye en la deserción escolar y el factor geográfico que considero solo 1 variable(medio de transporte que usa para trasladarse del colegio a su vivienda) el cual no influye en la deserción de los alumnos.

PEDRO JUEZ (España, 2005), dice en su investigación, identificación, pronostico, toma de decisiones y evaluación del paciente paliativo no oncológico,(…), mediante funciones que combinan la regresión logística y su análisis, se estableció, clasifico y determino que la gravedad y supervivencia

es de gran relevancia para el sistema sanitario, se identificó los principales factores pronósticos en las enfermedades avanzadas no oncológicas(comorbilidad, situación funcional, progresión de la enfermedad, hospitalizaciones frecuentes, complicaciones, enfermedades intercurrentes y deterioro cognitivo), realizado con una muestra representativa de 1773 pacientes del hospital Dr. Moliner.

CAROLINA ALTMANN (Uruguay**,** 2005), dice en su material técnico: El presente trabajo aborda la importancia del análisis de lubricantes, como herramienta, a la hora de llevar adelante una estrategia de mantenimiento Proactivo, para el caso de flotas de maquinaria pesada. La filosofía del mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria. El análisis de aceite permite conocer tanto la salud del lubricante, como el estado de contaminación y desgaste del sistema, así como también, reconocer las causas que provocan las fallas, para poder eliminarlas, aumentando de ésta forma, la confiabilidad.

JULIO FRANCISCO RAMÍREZ HERNÁNDEZ. (Guatemala, 2007) en su investigación, plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones s.a. (...), Se logró determinar que utilizando el monitoreo de aceite en los equipos, se puede lograr ahorro en el valor de los costos de servicios de mantenimiento.

MICHEL VARGAS VALLEJO (2007), "Análisis Mantenimiento Automotriz para vehículos de hasta tres toneladas para transporte de pasajeros" – Quito Ecuador: (...), determinar los costos fijos y variables para la instalación y operación del taller son indispensables en el plan de Mantenimiento Automotriz.

FERREYROS CAT (Lurín, 2009) dice en el manual técnico: El sistema de renovación de aceite optativo extiende los intervalos de cambio del lubricante del motor desde 500 horas hasta 4.000 horas o más, para aumentar la disponibilidad de la máquina y reducir los costos.

RICHARD WIDMAN (2010), en su estudio "Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite". Considera que los laboratorios operan con equipos muy sofisticados para determinar la condición del aceite, incluyendo su contaminación, la reserva de aditivos, la degradación, etc. Esto lo efectúan con mucho detalle, hasta la exactitud de 0.0001% (± 10% - o sea, 0.00009% a 0.00011%). Después comparan esta información con su base de datos y reportan desviaciones críticas, con la idea que el cliente sabe interpretarlo y utilizarlo para comparar con su propio benchmarking.

Los comentarios del laboratorio son útiles para identificar problemas serios o comparar con límites condenatorios de los fabricantes. Pero el mantenimiento proactivo requiere entender las diferencias entre:

Límites condenatorios: Los límites publicados por los fabricantes que indica una situación crítica que requiere un cambio de aceite con las revisiones recomendadas en sus catálogos.

Límites comúnmente aceptados: Límites basados en lo que frecuentemente se ve, y que si sobrepasamos, estaremos entre los peores vistos.

Promedios: Frecuentemente laboratorios comparan los resultados con el promedio de lo que analizan. Mientras esto puede decir que no hay nada para preocuparse, no indica lo que se puede alcanzar.

Límites proactivos: Estos son límites puestos por benchmarking o comparaciones con los mejores resultados, buscando lo mejor para nuestra empresa, auto, camión, etc.

Límites condenatorios: En la **tabla 1** podemos ver los límites condenatorios de Caterpillar, Cummins y Detroit. Con la excepción del límite de **Silicio** (tierra), estos límites son sumamente altos. Un aceite que permite tanto desgaste con este nivel de contaminación no es bueno y no debería ser usado en una empresa que quiere controlar sus costos. No puede certificado como parte de un plan de mantenimiento en una inspección para la certificación ISO 9000.

Esta tabla no considera kilómetros u horas de uso. Simplemente indica que al llegar a ese nivel de contaminación o desgaste, hay que cambiar el aceite.

Tabla 1. L*ímites condenatorios de Caterpillar, Cummins y Detroit.*

Tabla 1	Caterpillar	Cummins	Detroit
Hierro	100 ppm	84 ppm	150 ppm
Cobre	45 ppm	20 ppm	90 ppm
Plomo	100 ppm	100 ppm	No especifica
Aluminio	15 ppm	15 ppm	No especifica
Cromo	15 ppm	15 ppm	No especifica
Estaño	20 ppm	20 ppm	No especifica
Sodio	40 ppm	20 ppm	50 ppm
Boro	20 ppm	25 ppm	20 ppm
Silicio	10 ppm	15 ppm	No especifica
Viscosidad	+20% a -10%	± 1 grado SAE o 4 cSt del nuevo a 100° C	+40% a -15%
Agua	0.25% max.	0.20% max.	0.30% max.
TBN	1.0 KOH/g min.	2.0 KOH/g min. 50% del original o igual al TAN	1.0 KOH/g min.
Combustible	5% max.	5% max.	2.5% max.
Glicol	0.1% max.	0.1% max.	0.1% max.

Fuente: RICHARD WIDMAN, "Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite"

Límites comúnmente aceptados: En la **tabla 2** podemos ver límites que son normalmente aceptados en la industria para motores a diesel, independiente de la marca. Estos límites también son muy altos para ser considerados como parte de un plan de mantenimiento proactivo.
Hay grandes diferencias entre estas dos tablas, parcialmente por la variación en materiales entre motores. Por ser más representativa de lo que se ve como

"normal" en muchos análisis, esta tabla acepta mayor contaminación por tierra.

Esta tabla tampoco considera los kilómetros recorridos o las horas de uso y no considera el tamaño del motor.

Tabla 2. ***Límites normalmente aceptados en la industria para motores a diésel***

Tabla 2	Normal	Anormal	Critico
Fe Hierro (Iron)	<100 ppm	100 a 200 ppm	>200 ppm
Pb Plomo (Lead)	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
Cu Cobre (Copper)	<30 ppm	30 a 75 ppm	>75 ppm
CR Cromo (Chromium)	<10 ppm	10 a 25 ppm	>25 ppm
Al Aluminio (Aluminum)	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Ni Níquel (Níckel)	<10 ppm	10 a 20 ppm	>20 ppm
Ag Plata (Silver)	<3 ppm	3 a 15 ppm	>15 ppm
Sn Estaño (Tin)	<20 ppm	20 a 30 ppm	>30 ppm
Na Sodio (Sodium)	<50 ppm	50 a 200 ppm	>200 ppm
Si Silicio (Silicon)	<20 ppm	20 a 50 ppm	>50 ppm
Dilución por combustible (Fuel)	<2%	2 a 6%	>6%
Hollín (Soot)	<2%	2 a 6%	>6%

Fuente: RICHARD WIDMAN, "Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite"

Se nota que hay una gran diferencia en el plomo aceptado, se aceptan 100 ppm antes de condenar el aceite, la tabla común, o "normal" indica "aceptable" o "normal" 30 ppm de plomo. Esto se desvía mucho de la práctica del *mantenimiento proactivo*, ya que sabemos por numerosos resultados que es muy posible mantener el desgaste de plomo (de cojinetes) debajo de 10 ppm.

Personalmente no quiero verlo sobre 5 ppm en un motor grande y 2 ppm en un motor chico. Si un aceite y un plan de mantenimiento puede extender la vida útil del motor 200% sobre el "*normal*" y 900% sobre el "*límite condenatorio*" por reducir el desgaste de cojinetes, **¿por qué consideramos la tabla condenatoria o la tabla "normal"?** Otra desviación crítica es la contaminación por silicio. CAT® dice que a 10 ppm hay que cambiar el aceite, pero la tabla aceptada como "normal" acepta 20 ppm. Cuando silicio es el enemigo Nº 1 para el motor, ¿por qué aceptaríamos el doble de esta "lija"? Ambas tablas consideran aceptable 100 ppm de desgaste de hierro (camisa, bloque, tren de válvulas, etc.). La experiencia nos indica que la combinación de un buen aceite y buen control de contaminantes lo puede mantener entre 5 y 20 ppm, con 50 ppm como un límite máximo aceptable en algunas condiciones en motores grandes.

El sodio es otro elemento que depende demasiado de la localidad donde estamos trabajando para poner un número "normal" o "condenatorio". Nuestra experiencia, en un país sin mar, indica que cualquier monto sobre 10 ppm es un indicador de contaminación del radiador, y más de 15 es definitivamente un problema de agua en el motor. Tal vez 40 ppm de sodio es normal cerca del mar, operaciones en el salar, o en países donde derriten la nieve con sal, pero para nosotros la idea de tolerar 30 ppm o más sin buscar la causa es alarmante.

Ahora veremos una tabla más representativa de mantenimiento proactivo, considerando causas y variaciones. **No presentamos esta tabla como una tabla ideal.** Es muy fácil superar a los números presentados.

La **tabla 3** considera el uso del aceite a 6000 kilómetros o 400 horas en equipo pesado. En la práctica se debería dividir todo el uso para comparar resultados por cada mil kilómetros o 100 horas para tener números comparables.

Ésta no es una tabla ideal o específica para un programa de mantenimiento proactivo. En general representa una base alcanzable. Para ser proactivo tiene que ser adaptada a los equipos de la empresa donde queremos bajar los costos de mantenimiento.

Tabla 3. ***Niveles del aceite a 6000 kilómetros o 400 horas en equipo.***

Tabla 3	Normal	Comentarios
Fe Hierro (Iron)	5 a 50 ppm	Niveles encima de 15 ppm indican mayor desgaste que lo posible
Pb Plomo (Lead)	2 a 10 ppm	Más de 10 ppm indica un motor parado mucho tiempo, contaminación, aceite muy delgado o aceite muy viscoso.
Cu Cobre (Copper)	2 a 5 ppm	Motores con enfriadores de aceite pueden tener más sin preocuparse.
CR Cromo (Chromium)	1 a 8 ppm	Alto desgaste de Cromo frecuentemente viene de alto hollín o tierra lijando los anillos y el árbol de levas.
Al Aluminio (Aluminum)	2 a 15 ppm	Normalmente será 30% del valor de silicio. El valor sobre eso es preocupante.
Ni Níquel (Níckel)	1 a 2 ppm	Alto desgaste de níquel normalmente indica alta contaminación por hollín y tierra.
Ag Plata (Silver)	0	Son pocos los motores con cojinetes de plata
Sn Estaño (Tin)	1 a 2 ppm	Operación del motor a bajas revoluciones con alta carga causa la degradación de los cojinetes.
Na Sodio (Sodium)	0 a 10 ppm	Alto sodio indica una entrada de agua del radiador, a no ser que se opere cerca del mar o un salar. Sodio es muy corrosivo.
Si Silicio (Silicon)	5 a 10 ppm	Motores nuevos o rectificados pueden tener un cambio o dos con niveles mayores. Después de ello, todo es tierra entrando para lijar las piezas. El Silicio es el enemigo Nº 1 para el motor.
Dilución por combustible	0 a 2%	Cuando se toma la muestra caliente como debería ser, todo el combustible debería evaporarse. El Combustible diluye el aceite y "come" los cojinetes.
Hollín (Soot)	0 a 2%	Niveles sobre esto son anti-económicos por el alto consumo de combustible y poco aprovechamiento para la conversión del mismo a potencia. El Hollín es el enemigo Nº 2 para el motor.

Fuente: RICHARD WIDMAN , "Interpretando el Reporte de Análisis de Aceite"

2.2. PLANTEAMIENTO TEÓRICO ATINGENTE

2.2.1. BASES TEÓRICAS

ACEITES LUBRICANTES

Los lubricantes representan un gran impacto en el sector minero. Con frecuencia las empresas destinan un presupuesto permanente para esta partida porque saben que más que un gasto es una inversión que puede redituar grandes beneficios a largo plazo, si es que se escogen los productos adecuados que tengan mejor rendimiento y eficiencia pero que, además, se adapten con facilidad a las difíciles circunstancias propias del clima, altura y terreno en el que se desarrolla la minería.

Un buen lubricante otorga la ventaja de reducir considerablemente la cantidad de combustible consumido y aumenta la disponibilidad de la maquinaria sin que los procesos se vean perturbados por posibles interrupciones que acarrearían un mayor costo para la empresa.

Los lubricantes son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.

Como lubricantes sólidos podemos citar el grafito o el bisulfuro de molibdeno. Se utilizan principalmente en aquellas condiciones en donde los lubricantes líquidos son incompatibles o de difícil aplicación (trabajo a muy bajas presiones, altas temperaturas, piezas lubricadas de por vida, etc).

El ejemplo más común de lubricante líquido son los **aceites** ampliamente utilizados en automotriz o vehículos y muchas aplicaciones industriales (turbinas, compresores, etc.)

Las grasas, en las que un aceite líquido es retenido por un agente espesante, son los lubricantes semisólidos más conocidos y empleados.

Los lubricantes se interponen entre las dos superficies en movimiento. De esta manera, forman una película separadora que evita el contacto directo entre ellas y el consiguiente desgaste.

Es conveniente señalar que el lubricante no elimina totalmente el rozamiento, aunque si lo disminuye notablemente. Esta disminución del rozamiento es la definición de lubricación. El rozamiento por contacto directo entre las superficies es sustituido por otro rozamiento interno mucho menor, entre las moléculas del lubricante. Este rozamiento interno es lo que llamamos viscosidad.

Funciones de los lubricantes

Los lubricantes no solamente disminuyen el rozamiento entre los materiales, sino que también desempeñan otras importantes misiones para asegurar un correcto funcionamiento de la maquinaria, manteniéndola en condiciones operativas durante mucho tiempo. Entre estas otras funciones, cabe destacar las siguientes:

- Refrigerante
- Eliminador de impurezas

- Anticorrosivo y antidesgaste
- Sellante
- Transmisor de energía

El lubricante correctamente aplicado consigue:

- Evitar el desgaste por frotamiento
- Ahorrar energía, evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento y generan calor.

• Refrigeración

El aceite contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de frotamientos, combustión, esta función es especialmente importante (la segunda más importante después de lubricar), en aquellos casos en que no exista un sistema de refrigeración, o éste no tenga acceso a determinados componentes de la máquina, que únicamente puede eliminar calor a través del aceite (cojinetes de biela y de bancada, parte interna de los pistones en los motores de combustión interna).

En general, se puede decir que el aceite elimina entre un 10% y un 25% del calor total generado en la máquina.

• Eliminación de impurezas

En las máquinas y equipos lubricados se producen impurezas de todo tipo algunas por el propio proceso de funcionamiento (como la combustión en los

motores de explosión), partículas procedentes de desgaste o corrosión y contaminaciones exteriores (polvo, agua, etc).

El lubricante debe eliminar por circulación estas impurezas, siendo capaz de mantenerlas en suspensión en su seno y llevarlas hasta los elementos filtrantes apropiados. Esta acción es fundamental para conseguir que las partículas existentes no se depositen en los componentes del equipo y no aceleren un desgaste en cadena, puedan atascar conductos de lubricación o producir consecuencias nefastas para las partes mecánicas lubricadas. Podemos decir que el lubricante se ensucia para mantener limpia la máquina.

• ***Anticorrosivo y antidesgaste***

Los lubricantes tienen propiedades anticorrosivas y reductoras de la fricción y el desgaste naturales. Se puede incrementar esta propiedad con el agregado de aditivos específicos para preservar de la corrosión diversos tipos de metales y aleaciones que conforman las piezas y estructuras de equipos o elementos mecánicos.

• ***Sellante***

El lubricante tiene la misión de hacer estancas aquellas zonas en donde pueden existir fugas de otros tipos de gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor. La cámara de combustión en los motores de

combustión interna y los émbolos en los amortiguadores hidráulicos son dos ejemplos donde un lubricante debe cumplir esta función.

• ***Transmisor de energía***

Es una función típica de los fluidos hidráulicos en los que el lubricante además de las funciones anteriores, transmite energía de un punto a otro del sistema.

Composición de los lubricantes

Los lubricantes se componen de aceites base y una serie de aditivos modificadores de las propiedades de estos aceites.

Los aceites base pueden provenir del refino del petróleo ó bien de reacciones petroquímicas. Los primeros son los denominados aceites minerales y los segundos son conocidos como aceites sintéticos.

Los aceites base de tipo mineral (bases minerales) están constituidos por tres tipos de compuestos parafínicos, nafténicos y aromáticos, siendo los primeros los que se encuentran en mayor proporción (60 – 70%) por tener las mejores propiedades lubricantes, pero siempre hay compuestos nafténicos y aromáticos que aportan propiedades que no tienen las parafinas (comportamiento a bajas temperaturas, poder disolvente, etc).

Las bases sintéticas son sustancias prácticamente puras que poseen ciertas características especiales que las diferencian de las bases minerales, como son:

• Mejores propiedades lubricantes

• Mayor índice de viscosidad

• Mayor fluidez a baja temperatura

• Mayor estabilidad térmica y a la oxidación

• Menor volatilidad

Aunque actualmente su importancia es creciente, su consumo se ve limitado por el elevado coste de obtención. Su principal utilización es la fabricación de aceite de automotriz o transporte de muy alta calidad, especialmente para motores de gasolina y diésel para industrias importantes como la minería.

El aceite base no puede cumplir, por sí sólo, todas las funciones descriptas con anterioridad.

Tampoco podría soportar las condiciones a veces críticas de funcionamiento de los equipos.

Por esta razón, es necesario aditivar los aceites con ciertas sustancias que varían según:

- La aplicación del lubricante:
    - Motor
    - Engranajes
    - Sistemas hidráulicos
    - Etc.
- Las condiciones de trabajo:
    - Monogrado ó Multigrado

• Gasolina ó Gas - oil

• Etc.

- Niveles de prestaciones que se desea alcanzar:

• Clasificación ACEA

• Clasificación API

• Clasificación SAE

• Clasificación CCMC

• Normas MIL (Militares E.E.U.U.)

• Especificaciones de fabricantes ó recomendaciones del fabricante.

Existen diferentes aditivos que pueden clasificarse según su función específica, en los siguientes grupos:

- Mejoradores de las propiedades físicas.

• Indice de viscosidad

• Punto de congelación

- Mejoradores de las propiedades químicas.

• Antioxidantes

• Anticorrosivos

- Mejoradores de las propiedades físico-químicas.

• Detergentes

• Dispersantes

• Antidesgaste

• Antiherrumbe

• Antiespumantes

Características generales de los lubricantes

Los lubricantes son sustancias que se componen de aceite base y de una serie de aditivos que potencian o confieren las propiedades que el aceite base por sí solo no es capaz de alcanzar. A continuación vamos a ver algunas de esas propiedades.

- ***Viscosidad***

Es la propiedad fundamental y más importante de un lubricante líquido. Se puede definir como su resistencia a fluir o lo que es lo mismo, la medida del rozamiento de sus moléculas.

No hay que confundir términos de untuosidad o densidad con viscosidad. La untuosidad es la adherencia de las partículas a las superficies metálicas, incluso en posición vertical. Debido a la untuosidad, las superficies metálicas permanecen con una capa fina de lubricante incluso tras largo tiempo después de haber sido aportado el lubricante. La densidad es el peso de una materia en relación al volumen que ocupa. No aporta ninguna propiedad funcional a los lubricantes.

La viscosidad en un fluido depende de la presión y de la temperatura:

- Al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad.
- Al aumentar la presión aumenta la viscosidad.

La medida de la variación de la viscosidad con la temperatura es el **índice de viscosidad**. A mayor índice de viscosidad, mayor resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura. El índice de viscosidad se mejora con los aditivos ***mejoradores del índice de viscosidad***.

Clasificación SAE

Este es un sistema de clasificación basado pura y exclusivamente en la viscosidad del producto terminado, excluyendo de dicha clasificación otras consideradas de calidad o performance en su comportamiento.

Esta clasificación fue desarrollada por la Society of Automotive Engimeers (Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores) y establece una serie de números como por ej. SAE 20, 30 5W40; 15W40, que relacionan las viscosidades máximas permitidas que garantizan una buena distribución de caudal o irrigación al motor conjuntamente con un buen comportamiento de la bomba de aceite en el momento del arranque; como así también la formación de una película mínima del lubricante en las zonas de altas temperaturas para evitar de este manera un desgaste prematura y excesiva en las distintas partes del motor.

Aceites multigrado / monogrado

Como hemos visto, los aceites tienen la característica de modificar su viscosidad con la temperatura, siendo el índice de viscosidad el parámetro que mide la resistencia del fluido a modificarla.

Un aceite monogrado presenta un comportamiento correcto en unas concretas y limitadas condiciones de temperatura ambiente, dependiendo de su grado SAE. Así los aceites acompañados de la sigla W aseguran un comportamiento determinado en frío lo cual los hace aptos para funcionar en invierno, los que no presentan la sigla W no garantizan un buen comportamiento en frío, por lo que solo son recomendables para verano.

Un aceite multigrado parte de un aceite tipo W al cual se le añaden mejoradores del índice de viscosidad. De esta forma se asegura el comportamiento en frío del aceite, pero al aumentar la temperatura la estabilización de la viscosidad debida a la aditivación permitirá al aceite comportarse como un fluído de verano, garantizando la correcta lubricación. Así, un aceite multigrado de grado SAE 15W40, se comportará en frío como un SAE 15 W con la consiguiente facilidad para ser bombeado y garantizar una correcta lubricación desde el arranque, pero al aumentar la temperatura del aceite este actuará como un SAE 40 garantizando una viscosidad adecuada a alta temperatura y una película lubricante estable.

Puede parecer que la diferencia entre un monogrado y un multigrado se limita solo a su comportamiento frente a los cambios de temperatura ambiente, pero no es solo así, sino que además un lubricante multigrado es también más estable frente a los grandes cambios de temperatura a los que se ve sometido un motor (90° C en el cárter frente a 300 °C en las partes más calientes) evitando su descomposición por el choque térmico, siendo más estable

térmicamente. Por este motivo los aceites multigrados tienen mayor duración de uso que los monogrados, además de alargar la vida de los equipos.

El grado de viscosidad SAE no constituye una medida de la calidad del aceite sino da la idea de una aplicación correcta del lubricante.

- ***Detergencia TBN:***

La detergencia es una de las características que deben tener los lubricantes para motores. Su misión reside en mantener en suspensión las partículas contaminantes en el seno del aceite, evitando que entren en contacto con las partes metálicas. Estos aditivos tienen, total o parcialmente, una naturaleza químicamente básica y confieren al aceite una reserva alcalina denominada TBN (Total Base Number) que permite al aceite neutralizar el ácido sulfúrico formado en la combustión del diesel, debido al azufre presente en la composición de éste. Este hecho puede tener relevancia en motores diesel.

El TBN, por ser una reserva alcalina, es una medida de componentes del aceite químicamente activos, que proporcionan elevados contenidos en cenizas metálicas y que pueden ser tan perjudiciales como los ácidos de la combustión, si están presentes en exceso.

Por ello, no es conveniente utilizar un lubricante de elevado TBN en aquellos motores que no vayan a hacer uso de él, pues podrían sufrir un ataque químico innecesario.

ACEITES EN EL MERCADO

Shell Omala S4

Es un producto sintético. En la minería, los reductores de velocidad están asociados a partes de procesos muy críticos, entonces hay mucha preferencia por usar productos de alto desempeño que aseguren no parar el proceso porque se vaya a malograr el reductor de velocidad. Las operaciones cotidianas propias de la minería exigen trabajar con productos de alta calidad que generen alta confiabilidad. Este producto es elaborado por una base sintética, la Poli-Alfa-Olefina, conocida como PAO, que genera un beneficio adicional y trabaja muy bien a altas temperaturas. El Shell Omala S4 GX cumple con la especificación del fabricante alemán Flender, mientras que el Shell Omala S4 Wheel tiene la aprobación de General Electric (GE), este último con una fuerte presencia en la minería mundial.

Mobil SHC Gear OH

Provee una reducción de consumo de energía de más del 3%, comparado con aceites convencionales. Destacan sus excepcionales propiedades de soporte de carga y antidesgaste, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los engranajes y reducir los costos de mantenimiento. Su alto índice de viscosidad permite una operación libre de problemas a lo largo de un amplio rango de temperaturas, particularmente a temperaturas extremadamente bajas. Sus propiedades de baja tracción ayudan a mejorar la eficiencia de los engranajes y baja la

temperatura de operación, lo que conduce a menores costos operativos. Su excepcional resistencia térmica y a la oxidación ayuda a reducir el consumo del lubricante, reduciendo los costos del producto y del ciclo de cambio del mismo. Su color claro ayuda a evitar la necesidad de la limpieza de los engranajes previo a las inspecciones, lo cual ayuda a reducir los costos de mantenimiento.

Primax Diesel B5

Es el combustible más demandado en el mercado minero y está constituido por una mezcla de Diesel N° 2 (combustible derivado de hidrocarburos) y 5% en volumen de Biodiesel (B100, combustible que puede ser obtenido de aceites vegetales, grasas de animales, etc. derivados de recursos renovables). Para un mejor desempeño y alto nivel de rendimiento contamos con el Diesel B5 Aditivado, que es un combustible formulado con aditivos de última generación, para ser empleado en todo tipo de motores Diesel de camiones de transporte pesado, como los que se utilizan en la industria minera. Dentro de las ventajas principales del Diesel B5 Aditivado podemos mencionar la mejora de la combustión, debido a que facilita su atomización, asegurando una excelente característica de ignición en cualquier clima y aminorando los humos de las emisiones de los escapes (contaminación) durante el funcionamiento del motor.

Castrol Molub Alloy 968 SF

La aplicación de lubricantes como las grasas para minería son tan recurrentes debido a que se encuentra presente en todo tipo de maquinaria de movimiento de tierra. Estas aplicaciones se hacen con lubricantes diseñados, formulados y desarrollados para descansos o rodamientos del tipo convencional, y valores típicos de relación carga/velocidad circunferencial. Los lubricantes del tipo "grasas para uso general", con o sin aditivos EP y/o Bisulfuro de Molibdeno (MoS2), fabricados en varios grados NLGI y tipos de espesantes metálicos, incluso mezclados entre ellos, tienen buen comportamiento dentro de los valores típicos de su diseño gracias a la incorporación de aceites de diferentes viscosidades, y son ideales para las aplicaciones en descansos y componentes que "reúnan las condiciones de velocidad y carga que permitan activar los mecanismos del proceso de lubricación" de la grasa, sin embargo, esto no siempre se da.

Entonces, una adecuada selección del producto, de acuerdo a los parámetros antes indicados de carga/velocidad, más una apreciación de las condiciones ambientales (temperatura y contaminación) y operacionales en la maquinaria, darán como resultado una aplicación técnica y económicamente acertada. No obstante, cuando se trata de mecanismos en que las características de trabajo son atípicas, que presentan un roce deslizante, como correderas y guías, o combinaciones de ellos como ocurre en los engranajes de gran tamaño (las

cajas reductoras se lubrican por baño de aceite), o pines de medio giro o giro completo lento como las articulaciones, es necesario buscar otra técnica de lubricación y/o lubricantes ya que no se reúnen las características dinámicas necesarias para activar y establecer una lubricación por película hidrodinámica (formación de la "cuña"). En efecto, estas aplicaciones son siempre de alta carga, continua o intermitente, variable, con impacto y baja velocidad.

El lubricante a aplicar debe estar formulado para esas condiciones y debe destacar en las siguientes características esenciales: formación de película estable e independiente de la velocidad, alta resistencia a la carga de ruptura y soldadura, características EP y anti desgaste sobresalientes, condiciones xilotrópicas con el objeto de acomodar las características de su película a las exigencias variables de las cargas, buena bombeabilidad en bajas temperaturas, buen comportamiento ante la presencia de contaminantes ambientales, amigable con el medio ambiente y libre de solventes dañinos. Por esas razones, Castrol Industrial a través de su represente en el Perú con AXUR S.A. propone la grasa de alto desempeño Molub Alloy 968 SF, especialmente para la lubricación de las articulaciones de equipo pesado. Es un lubricante diseñado para uso en cargadores, palas, perforadoras, camiones y dragas del tipo walking, de gran tamaño. Está formulado para resistir las más severas condiciones atmosféricas. En minas a tajo abierto, soporta condiciones

de extremo calor y polvo en verano así como inclemencias del tiempo en invierno. Es un derivado de petróleo parafínico de muy alta refinación y alta viscosidad, que es el origen para obtener una base fluida con excelente estabilidad natural química y térmica. Está hecho para que fluya fácilmente para la formación de la película lubricante, también es resistente al corte y se adhiere firmemente a las superficies. Incorpora una apropiada combinación de sólidos metálicos auto lubricantes con la tecnología Molub-Alloy para obtener propiedades anti-desgaste y mayor soporte de carga en relación a otros productos en el sector. Esta selección de sólidos metálicos trabaja sinérgicamente con aditivos químicos de extrema presión y antidesgaste para reducir la temperatura en zonas de contacto, proporcionando una excelente protección anti soldadura ante condiciones de extrema carga y choque. Inhibidores de herrumbre y oxidación están incluidos en la formulación para proteger el equipo y la película lubricante en condiciones severas de tiempo.

Molub Alloy 968 SF forma parte de los productos "Castrol Performance Lubricants Eco-Solution TM", que han sido formulados para proteger al medio ambiente, ya que están libres de Plomo, Antimonio, Zinc, Solventes Clorinados y Bario. No contienen ningún tipo de solvente. Cuenta con 5% de Bisulfuro de Molibdeno y 3% de aditivos sólidos metálicos, con tecnología única que trabajan en sinergia.

Valvoline Premium Blue

Valvoline Premium Blue es endosado y distribuido exclusivamente por Cummins Perú, reuniendo las especificaciones CI-4 (y las categorías anteriores) y Cummins CES 20078, incluyendo especificaciones ACEA, Mack EO-M Plus, Volvo VDS-3, Cat ECF-2/1a, especificaciones ACEA y Global DHD-1.

Premium Blue es recomendado para usarse en un amplio rango de motores de trabajo pesado y de condiciones ambientales que se encuentran en vehículos de carretera, fuera de carretera y estacionarios. También reúne la especificación API SL para motores gasolineros usado en flotas mixtas. El paquete de aditivos único del Premium Blue ha sido diseñado para proveer superior protección para los motores actuales incluyendo aquellos que cuentan con Recirculación de gases de escape Enfriados (EGR).
La tecnología de dispersancia del Premium Blue proporciona excepcional control del hollín. Tecnologías inadecuadas no dispersan el hollín efectivamente causando aumento excesivo de la viscosidad y depósitos, provocando degaste y la restricción del flujo al evitar que el lubricante llegue a las partes importantes del motor. Esto puede resultar en desgaste excesivo de los componentes del motor y/o en una falla catastrófica del motor.

MANTENIMIENTO DE CAMIONES CAT

El rendimiento de una máquina debe medirse en última instancia en costo por unidad de material movido, una medida que incluye tanto producción como costo. Influyen directamente en la productividad factores tales como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tipo de transmisión, las velocidades y los costos de operación.

Hay otros factores de rendimiento de las máquinas menos directos, pero no es posible mostrarlos en tablas ni gráficas. Son ejemplos de esto la facilidad de servicio, la disponibilidad de piezas de repuesto y las conveniencias para el operador. Al comparar las características de operación y rendimiento, deben considerarse todos los factores.

Los datos se basan en pruebas en el campo, análisis a base de computadoras, investigaciones y pruebas de laboratorio y se han utilizado todos los medios posibles para asegurar que estos datos sean correctos. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que todos los datos se basan en un 100% de eficiencia en las operaciones, lo cual no es posible conseguir de manera continua, ni aun en condiciones óptimas. Esto permite compensar los valores reales de la eficiencia en la obra, la habilidad del operador, las características del material, las condiciones de los caminos de acarreo, la altitud y otros factores que puedan reducir la producción o el rendimiento en un trabajo determinado.

Los métodos para calcular los costos de posesión y de operación de una máquina varían mucho, pues dependen de las condiciones del lugar, de las

prácticas de la industria, de las preferencias del propietario y de otros factores. Se recomienda en los manuales de operación un método en la Sección de Costos de Posesión y de Operación. Cuando se emplea con buen criterio, se consiguen resultados bastante exactos. En la sección de Posesión y de Operación de estos manuales se dan pautas basadas en las condiciones de trabajo que le ayudarán a determinar el consumo de combustible y de lubricantes, la vida útil de los neumáticos y los costos de reparación de las máquinas Cat. Es necesario considerar, sin embargo, que lo que para una persona son condiciones "excelentes", para otra es posible que sean "exigentes" o "regulares", pues todo depende de su experiencia y de las bases que utiliza como referencia. Por esta razón, estas pautas deben considerarse sólo aproximadas.

Caterpillar Inc. ha hecho todas las comprobaciones necesarias para asegurarse de que la información contenida en sus manuales sea exacta y exprese con bastante exactitud los resultados a alcanzarse en las circunstancias indicadas. No obstante, considerando los muchos factores variables que influyen en el cálculo de la producción o en el rendimiento de las máquinas de movimiento de tierras, en el consumo de combustible y lubricantes, duración de los neumáticos y costos de reparación, así como la posibilidad de que haya errores u omisiones involuntarios en la recopilación de los datos contenidos en sus manuales, Caterpillar no afirma ni sugiere que toda la información de

sus libros sea completa, ni que los niveles de los rendimientos indicados puedan lograrse en un trabajo determinado.

Las especificaciones de sus manuales son las que estaban vigentes en la fecha en que fue impreso. Sin embargo, como resultado de los diversos programas de Caterpillar para el mejoramiento de las máquinas, las especificaciones y materiales están sujetos a cambio sin previo aviso.

Normas de seguridad

Las normas de seguridad varían de un país a otro y, con frecuencia, dentro de un mismo país.

● **Sistemas hidráulicos separados** — evitan la intercontaminación entre los sistemas.

● **Seguridad** — Caterpillar sigue siendo proactivo en el desarrollo de camiones de obras y minería que cumplen o incluso sobrepasan los estándares de seguridad. La seguridad es parte integral del diseño de la máquina e incluye un sistema de dirección de dos cilindros de doble acción, superficies resistentes al patinaje y niveles bajos de ruido interior.

Protección del equipo

Durante la vida útil en servicio, cualquier maquinaria y el aceite que la lubrica, están expuestos a la acción de diversos agentes como son el oxígeno y la humedad del aire, altas presiones y temperaturas desarrolladas, productos químicos originados por el propio proceso de funcionamiento, etc…Un buen lubricante debe ser capaz de resistir estos agentes perjudiciales, esto es, tener

estabilidad y evitar, además, que ataquen los distintos componentes del equipo para conseguir una larga vida del mismo.

En orden a mejorar su estabilidad, el aceite base incorpora aditivos antioxidantes que reaccionan con agentes como el oxígeno, radicales libres o peróxidos, neutralizando el poder oxidante de éstos frente al aceite. Es decir, los aditivos antioxidantes se oxidan para evitar la oxidación del aceite, y se consumen, por lo que llega un momento en que es necesaria la sustitución del aceite. Es importante mencionar que la estabilidad térmica no puede ser mejorada con aditivos y depende exclusivamente de la composición química o procesos de obtención del aceite base.

Para proteger el equipo de todas las sustancias que pueden resultar nocivas, el aceite base necesita mejorar sus propiedades intrínsecas con aditivos:

- **Antiherrumbre**, que retardan la oxidación de los metales de la maquinaria
- **Anticorrosivos**, que protegen los metales frente a los agentes químicos.
- **Antidesgaste**, que modifican la fricción entre las piezas en movimiento, en orden a disminuir su desgaste.
- **Detergente y dispersantes**, que rodean las partículas extrañas y las mantienen en suspensión y dispersas en el aceite, e impiden que se depositen en los distintos componentes de la maquinaria.
- **Extrema presión**. Son aditivos en los lubricantes de engranajes y protegen en condiciones de lubricación límite.

- **Antiaire y antiespuma**, que eliminan el aire que pueda quedar ocluido en el seno del aceite y evitan la formación de espuma en el mismo.

Camion Cat 785c: El camión CAT 785c minero o de carga pesada, fue desarrollado por Caterpillar en con el fin de brindar máxima rentabilidad en el trabajo, sus funciones son de carga, traslación y descarga de material, en mina se utiliza para mover grandes cantidades de minerales en forma de tierra o piedras, Diseñado específicamente para aplicaciones de construcción y minería de gran producción, el camión para minería 785C mueve altos volúmenes de materiales para reducir su coste por tonelada. La construcción robusta hace que sea una máquina muy duradera, tiene complejos sistemas tanto de la maquina como de operación así como de seguridad. El peso bruto de la máquina en orden de trabajo 249.480 kg y una capacidad de carga útil nominal 136 tons métricas, sus dimensiones son de 11,6 m de largo 6,3m de ancho y 5,8 m de alto.

Figura 1: Camión Cat 785c

Tiene un motor diésel de inyección electrónica (EUI) Caterpillar® 3512B de alta reserva de par y continuando por la servotransmisión electrónica de seis velocidades, el tren de potencia mecánico del camión ha sido diseñado y fabricado por Caterpillar. Esto garantiza los máximos niveles de calidad, prestaciones y rendimiento a unos menores costes de operación.

Los bastidores de los camiones Caterpillar están construidos para resistir las cargas de impacto y de torsión más severas. El acero dulce utilizado en su fabricación les proporciona flexibilidad, duración y resistencia al impacto, incluso en climas muy fríos. El bastidor incorpora 21 fundiciones y 2 forjados en las zonas sometidas a mayores tensiones, para aumentar su resistencia y duración.

El puesto del operador del camión 785C ha sido mejorado muy significativamente, en relación con los modelos anteriores, gracias a su diseño

ergonómico que permite el control total de la máquina, en un ambiente de trabajo cómodo y productivo.

También cuenta con sistemas de control electrónico como el sistema VIMS que controla los sistemas y funciones vitales de la máquina.

Ayuda al operador en la conducción y operación de la máquina y le avisa en caso de funcionamiento anormal de algún sistema. El sistema VIMS permite al personal de servicio acceder a los datos sobre funcionamiento de la máquina, para realizar los trabajos de diagnosis con mayor rapidez y exactitud, reduciéndose los tiempos de parada e inactividad de la máquina. El sistema VIMS proporciona la información necesaria para una mejor gestión de la máquina, aumentar su productividad y reducir el coste por tonelada.

Características:

● **Motores diésel Cat de cuatro tiempos** — con turbocompresión, posenfriamiento y sistema de combustible que no requiere ajustes (inyección directa).

● **Transmisión automática controlada electrónicamente** — un detector de velocidad hace cambios automáticamente entre la primera marcha y la marcha seleccionada por el operador.

● **Sistema de Administración de Producción del Camión (TPMS) (opción)** — utiliza sensores de la presión de los amortiguadores y un microprocesador incorporado para determinar el peso de la carga útil, el tiempo de cada

segmento del ciclo, el tiempo de las demoras, el tiempo real y la fecha de cada ciclo.

● **VIMS™** — Vigila todas las funciones vitales de la máquina. Mantiene al operador informado de las condiciones de operación actuales, contribuye a reducir el tiempo de inactividad y permite que el personal de servicio tenga fácil acceso a los datos para hacer diagnósticos rápidos y precisos. El VIMS incluye el Sistema de Administración de Producción del Camión.

● **Inyección Unitaria Electrónica Mecánica (MEUI)** en los motores de los modelos 770 al 789C — mantienen electrónicamente los ajustes de combustible, proporcionan compensación automática de altitud y de restricción del filtro de aire, sincronización automáticamente variable, mejores diagnósticos y mayor eficiencia de combustible.

● **Frenos de discos enfriados por aceite —** proporcionan frenado de retardación, de servicio, de estacionamiento y de emergencia, en un sistema sellado único, que no pierde capacidad de frenado y que no requiere mantenimiento. Los frenos delanteros, estándar en los modelos 770 al 775F y optativos en los 777F, son de disco y pueden desconectarse del sistema de servicio cuando no se necesitan pero se pueden activar como parte del sistema secundario. Los frenos delanteros enfriados por aceite, estándar en los modelos 785C al 797F, proporcionan un control excelente en condiciones resbaladizas.

● **Control del Retardador Automático (ARC)** Esta opción es estándar en los modelos 770 a 797F — controla electrónicamente el frenado en pendientes

para mantener la velocidad de motor (rpm) y el enfriamiento en aceite óptimos. Las ventajas del Control del Retardador Automático (ARC) incluyen la protección contra sobre velocidad del motor, la facilidad de operación, velocidades más rápidas cuesta abajo, un desplazamiento más suave y un mejor control en condiciones resbaladizas, y una mayor eficiencia de combustible.

● **Sistema de Control de Tracción (TCS) (opción)** — vigila y controla electrónicamente el patinaje de las ruedas traseras para mejorar la tracción y el rendimiento del camión en terrenos en malas condiciones. Si el patinaje excede un límite determinado, los frenos de disco enfriados por aceite se activan para ralentizar la rueda que patina. De esta forma, el par se transfiere de forma automática a la rueda con mejor tracción. Disponible en los modelos del 770 al 797F.

● **Dirección totalmente hidráulica** — funciona con cilindros de suspensión delanteros que actúan como pivotes de dirección.

● **Cilindros de suspensión** — cuatro cilindros de suspensión nitrógeno/oleoneumática independientes, en unidades completas, amortiguan las cargas de impacto y del camino. El amplio espaciamiento entre los cilindros proporciona estabilidad.

● **Cajas** — hay disponible una amplia variedad de cajas para satisfacer las necesidades específicas de su aplicación. Estas opciones incluyen caja MSDII (diseño específico para minería), caja X, de piso plano, de piso de doble

declive y cajas sin compuerta para carbón. El programa de cajas de Caterpillar garantiza que el camión se configure para proporcionar una óptima solución de arrastre.

● **Cabina con Estructura de Protección en Caso de Vuelcos (ROPS) integral** — estructura ROPS integral de cuatro postes, integral, estándar en todos los modelos. Montada de forma elástica en el bastidor principal para reducir la vibración y el ruido, la estructura ROPS integral está diseñada como una extensión del bastidor. La estructura ROPS/FOPS proporciona "protección por los cinco costados" para el operador y el instructor.

Sistemas de estudio

El estudio de la tesis comprende a los sistemas donde hay aceites lubricantes en su funcionamiento, cumplen funciones vitales para el funcionamiento del camión, por lo tanto su mantenimiento es de suma importancia para el objetivo del camión que es carga, traslación y descarga de materiales, comenzaremos por el motor, luego la transmisión seguidamente estará el diferencial, después los mandos finales y ruedas, esenciales para el movimiento de traslación del camión, el sistema hidráulico será el último, este sistema hidráulico es quien se encarga del movimiento del volquete o también llamado caja de carga, es usado para el levante y bajada de la tolva.

Motor

Un motor es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo. En los camiones este efecto es una fuerza que produce el movimiento.

Existen motores térmicos, cuando el trabajo se obtiene a partir de energía calórica dentro de los motores térmicos tenemos al motor de combustión interna, que son motores térmicos en los cuales se produce una combustión del fluido del motor, transformando su energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica. El fluido motor antes de iniciar la combustión es una mezcla de un comburente (como el aire) y un combustible, como los derivados del petróleo y gasolina, los del gas natural o los biocombustibles y también tenemos a los motores de combustión externa, son motores térmicos en los cuales se produce una combustión en un fluido distinto al fluido motor. El fluido motor alcanza un estado térmico de mayor fuerza posible de llevar es mediante la transmisión de energía a través de una pared.

El camión Cat 785c tiene el motor Cat ® 3512B, con doble turbocompresor y posenfriador suministra alta potencia y fiabilidad en las aplicaciones de minería más exigentes del planeta. Diseño El 3512B es un diseño de 12 cilindros y cuatro carreras que utiliza carreras de potencia prolongadas y

eficaces para lograr una combustión del combustible más completa y una eficiencia del combustible óptima.

Según corresponda, el Motor 3512B cumple los requisitos sobre emisiones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos.

Diseñado para lograr eficiencias de operación máximas a altitudes por debajo de los 3.048 m (10.000 pies). Reserva de par alta La reserva de par neta del 23 por ciento proporciona una fuerza de transporte inigualable durante la aceleración, en pendientes pronunciadas y en condiciones de suelo duro.

La reserva de par adapta eficazmente los puntos de cambio para brindar una eficiencia máxima y tiempos de ciclo rápidos.

Una cilindrada alta, una clasificación de rpm baja y clasificaciones de potencia conservadoras significan más tiempo en los caminos de acarreo y menos tiempo en el taller.

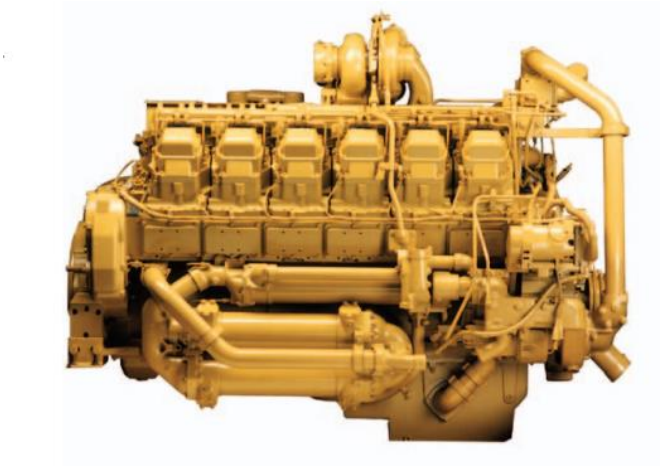


Figura 2: Motor Camión Cat 785c

El posenfriador del circuito separado permite que opere a una temperatura más fría que la temperatura del agua de las camisas (Piezas cilíndricas que permiten el desplazamiento de los pistones.) para lograr una carga de aire más densa y una mayor combustión.

El sistema computarizado protege electrónicamente el motor durante los arranques en frío, la obstrucción del filtro de aire, la elevada temperatura del escape y el exceso de velocidad del motor (ARC).

Módulo de Control Electrónico (ECM) Utiliza un software de administración del motor avanzado para monitorear, controlar y proteger el motor mediante sensores electrónicos que se autodiagnostican. El sistema computarizado detecta las condiciones de operación y los requisitos de potencia y ajuste del motor para proporcionar el máximo rendimiento y la operación más eficiente en todo momento.

Tabla 4. ***Características del motor Cat 3512BUI***

MOTOR

Modelo	Cat 3512B EUI
Potencia bruta SAE J1995	1450 hp / 1082 kW
Potencia neta - SAE J1349	1348 hp / 1005 kW
Potencia neta	1348 hp / 1005 kW
Potencia neta - Cat	1348 hp / 1005 kW
Potencia neta - ISO 9249	1348 hp / 1005 kW
Potencia neta - 80/1269/EEC	1348 hp / 1005 kW
Reserva de par	23 %
Calibre	170 mm
Carrera	190 mm
Cilindrada	51.800 cm3

Fuente: Manual técnico Caterpillar

En los motores hay componentes que se mueven a distancias muy reducidas causando fricción, provocando así la pérdida de energía motriz en calor disipado. El contacto entre superficies en movimiento también **desgasta los componentes**, desembocando en una reducción de la eficiencia y en una degradación del motor. Esto, a su vez, supone un aumento del consumo de combustible y reduce la potencia del motor y puede, en casos extremos, causar una avería irreversible del motor, es por eso que necesita de aceite lubricante para proteger las piezas en fricción, el lubricante además disipa el calor y recoge las partículas de las piezas de desgaste en el motor, el motor tiene que estar constantemente vigilado por sistemas electrónicos que se muestran en las VIMS pero que no es suficiente al momento de saber las partículas de las piezas desgastas o las partículas intrusas en el motor.

ACEITES PARA MOTORES DIESEL

Los aceites lubricantes para motores diésel presentan una serie de peculiaridades.

El gasóleo presenta un cierto contenido en azufre, que puede llegar a generar ácido sulfúrico, que habrá que neutralizar. Además, la combustión diésel produce mayor cantidad de residuos carbonosos, que es preciso mantener en suspensión para evitar que se depositen en diferentes partes del motor.

La lubricación de motores de combustión interna requiere de los aceites un servicio en condiciones severas, tales como:

- Presiones y temperaturas elevadas

- Contacto con agentes contaminantes como agua, polvo oxígeno, etc...

Son tres las propiedades fundamentales de los aceites para motores, derivadas de estas condiciones de servicio:

- Viscosidad (comentado anteriormente)
- Estabilidad térmica y a la oxidación
- Protección del motor

Protección del equipo

El origen de las partículas contaminantes es muy diverso: degradación térmica del aceite, subproductos de oxidación del mismo, partículas de combustión del combustible, polvo, partículas metálicas de desgaste, etc.

Estos contaminantes tienden a depositarse en diferentes zonas del motor creando depósitos como lacas y barnices, en zonas calientes, barros y lodos, en zonas frías ó depósitos carbonosos en segmentos y cabeza de pistones.

Para combatir estos depósitos, se requieren una serie de aditivos que mantengan las partículas contaminantes en suspensión, evitando su aglomeración y posterior depósito en el motor. Estos aditivos son los detergentes y dispersantes.

Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión es el conjunto de elementos que tiene la misión de hacer llegar el giro del motor hasta las ruedas motrices, con este sistema también se consigue al variar la relación de transmisión entre el cigüeñal y las

ruedas. Esta relación se varía en función de las circunstancias del momento (carga transportada y el traslado). Según como intervenga la relación de transmisión, el eje de salida de la caja de velocidades, puede girar a las mismas revoluciones, a más o a menos que el cigüeñal.
El cigüeñal es una de las partes básicas del motor, a través de él se puede convertir el movimiento lineal de los émbolos en uno rotativo, lo que supone algo muy importante para desarrollar la tracción final a base de ruedas, además de recibir todos los impulsos irregulares que proporcionan los pistones, para después convertirlos en un giro que ya es regular y equilibrado, unificando toda la energía mecánica que se acumulan en cada una de las combustiones.

Si el árbol de transmisión gira más despacio que el cigüeñal, diremos que se ha producido una desmultiplicación o reducción y en caso contrario una multiplicación o súper-marcha.

Dentro de los elementos del sistema de transmisión encontramos:
El embrague; tiene la misión de acoplar y desacoplar, a voluntad del conductor, el giro del motor de la caja de cambios. Debe transmitir el movimiento de una forma suave y progresiva, sin que se produzcan tirones que puedan producir roturas en algunos elementos del sistema de transmisión.
Se encuentra situado entre el volante de inercia (volante motor)
Caja de velocidades es la encargada de aumentar, mantener o disminuir la relación de transmisión entre el cigüeñal y las ruedas, en función de las

necesidades, con la finalidad de aprovechar al máximo la potencia del motor. La caja de cambios de velocidades es convertir el par motor. Es, pues, un convertidor o transformador de par. Un vehículo avanza cuando vence una serie de fuerzas que se oponen a su movimiento, y que constituyen el par resistente. El par motor y el resistente son opuestos. La función de la caja de cambios consiste en variar el par motor entre el motor y las ruedas, según la importancia del par resistente, con la particularidad de poder intervenir en todo momento y conseguir el desplazamiento del vehículo en las mejores condiciones.

El Árbol de transmisión transmite el movimiento de la caja de velocidades al conjunto par cónico-diferencial (sistema diferencial). Está constituido por una pieza alargada y cilíndrica, que va unida por uno de los extremos al secundario de la caja de cambios, y por el otro al piñón del grupo cónico. En el camión cat 785c este árbol es corto ya que la caja de velocidades está muy cerca de la parte posterior por el tamaño de la máquina.

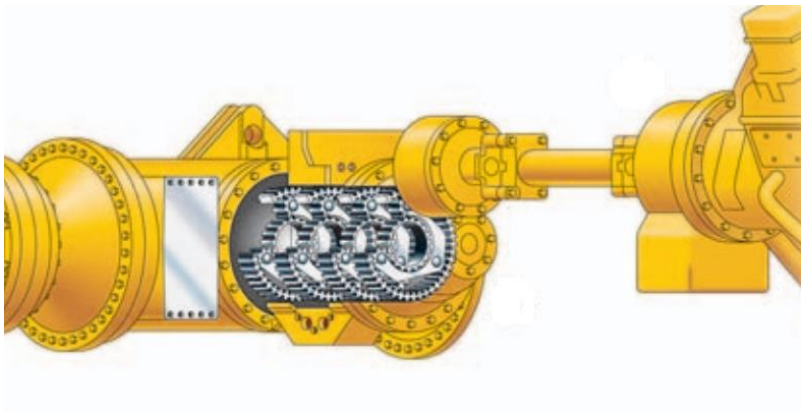


Figura 3: Sistema de Transmisión Camión Cat 785c

El modelo del camión minero Cat 785c tiene una servotransmisión planetaria electrónica de 6 velocidades, la servotransmisión, tiene como finalidad controlar la potencia generada en el motor a través del volante al eje de mando, una característica es la obtención de uniformidad en el cambio automático de las marchas, reduciendo la fatiga del operador e incrementando la vida útil del tren de fuerza.

Otra característica importante es que al tener componentes modulares, nos proporciona servicios más rápidos utilizando menos tiempo.

Del mismo modo la modulación individual del embrague en la servotransmisión, nos proporciona una disminución en los aumentos repentinos de par y cambios abruptos, reduciendo considerablemente el desgaste del tren de mando, proporcionando cambios mucho más suaves evitando posibles averías en el funcionamiento de la máquina.

Esta servotransmisión planetaria de seis velocidades está diseñada para la mayor potencia del motor 3512B. Gracias a su diseño, la transmisión es más robusta y puede trabajar mayor número de horas entre revisiones generales, La transmisión utiliza un depósito de aceite y un circuito independientes para que el aceite esté más limpio y frío y para aumentar la vida de los componentes del sistema.

Las velocidades del camión Cat 785c a través de la transmisión son las siguientes:

Tabla 5. ***Velocidades del camión Cat 785c a través de la transmisión***

TRANSMISION	
Avance 1	12.1 km / hora
Avance 2	16.3 km / hora
Avance 3	22.2 km / hora
Avance 4	29.9 km / hora
Avance 5	40.6 km / hora
Avance 6	54.8 km / hora
Retroceso	11.0 km / hora

Fuente: Manual técnico Caterpillar

LUBRICANTES PARA TRANSMISIONES

La transmisión es el conjunto de órganos de los equipos que tienen la misión de transmitir la energía generada en el motor a las ruedas adaptándola a las condiciones de marcha que se deseen. Consta de:

• El embrague

• La caja de cambios (manual ó automática)

Sistema Diferencial

El sistema diferencial el camión cat 785c, no es diferente a los sistemas diferenciales de otros vehículos, sus funciones son las mismas que de cualquiera de ellos, La primera de ellas es trasmitir el movimiento de giro del eje de trasmisión a los ejes de las ruedas y generalmente logrando una

reducción. Para ello el engranaje que recibe el movimiento del eje de la trasmisión tiene un número de dientes y un diámetro menor que el engranaje que trasmite el movimiento al eje de las ruedas. La segunda es, **compensar las diferentes velocidades** que se producen en dichas ruedas al recorrer una curva. La rueda que recorre la parte exterior a la curva debe recorrer un camino más largo que la que sigue la curva por la parte interior. Para evitar el deslizamiento de las ruedas, la velocidad de giro de la rueda exterior debe ser superior a la normal y la de la rueda interior debe ser inferior a la normal, efecto que ha de lograrlo el diferencial.

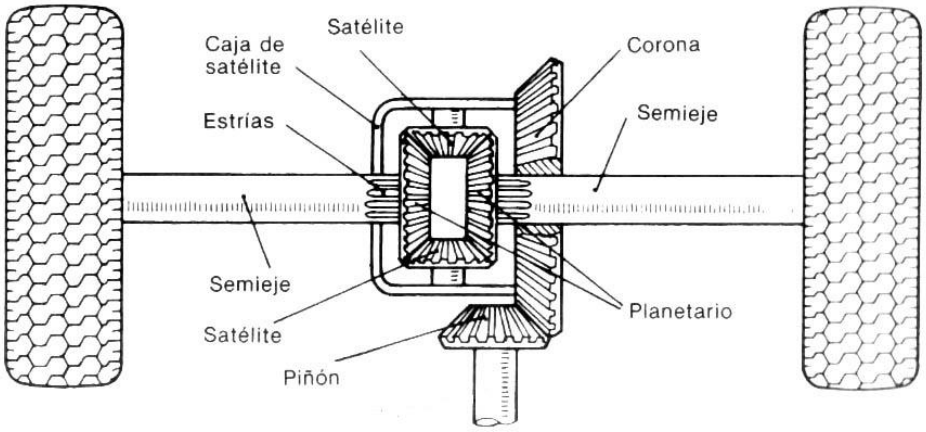


Figura 4: Esquema del diferencial

Los engranajes del diferencial en el interior permiten a las ruedas motrices girar a la velocidad adecuada cuando se acelera y en diferentes velocidades al girar una esquina. Los engranajes están recubiertos con una capa de aceite que protege la capa de acero endurecido en los dientes debido al desgaste por fricción. En mina al estar expuesto a condiciones extremas el aceite del

engranaje del sistema diferencial debe ser revisado periódicamente para asegurar de su buen funcionamiento.

Sistema de Mandos

Los mandos finales son la última reducción de velocidad del sistema de transmisión de potencia hacia las ruedas motrices del camión, ya que, aunque en los otros sistemas como trasmisión (caja de cambios) y el diferencial, se reduce la velocidad para aumentar la fuerza de tracción, todavía esta reducción no es suficiente para lograr un buen funcionamiento del camión. Sin embargo, la velocidad con que se sale la potencia del diferencial es muy alta comparada con la que requiere el camión para realizar su trabajo. Entonces podemos decir que el mando final es el último sistema reductor de la máquina, esto significa que al reducir la velocidad proveniente de la transmisión, aumenta el torque, y esto lo logra gracias a un conjunto de engranajes, este es llamado conjunto planetario.

Entre las funciones principales del mando final temernos:

* Transmitir la potencia proveniente de la transmisión a las ruedas motrices.

* Disminuir las revoluciones de las ruedas motrices y por ende aumentar el torque.

Los mandos finales planetarios de alta reducción desarrollan potencia en las ruedas a la vez que mantienen bajas las cargas de torsión en los ejes y en la transmisión. Los Sellos Flotantes Anulares Duo-Cone retienen el lubricante y reducen considerablemente la entrada de la tierra. Los aceros de aleación especiales y los procesos de termotratamiento aseguran la larga vida útil de los engranajes. Las unidades planetarias pueden sacarse independientemente de las ruedas y los frenos.

En el Cat 785c tenemos un grupo de engranajes planetarios como ya habíamos estado hablando el eje de salida es colonial o sea están en la misma recta. Con respecto a la carga tenemos que está repartida entre 4 puntos de contacto haciendo que el desgaste sea menor y dando una mayor vida útil a las piezas.

Figura 5: Sistema de Mandos Camión Cat 785c

El verificación y mantenimiento de este sistema se debe dar de manera periódica, se revisa que el aceite esté en buenas condiciones para que no haya fallas en el sistema, los mandos finales al tener engranajes y estos al estar en

constante movimiento y fricción están propensos a desgastes es por ello que se lleva un buen control de ellos.

LUBRICANTES PARA DIFERENCIALES y MANDOS FINALES

Es el órgano más solicitado en lo que respecta a severidad del trabajo para los engranajes debido a que en ellos se realiza la conversión del par mediante engranajes del tipo hipoide. Requieren viscosidad adecuada y aditivación EP de grado GL-5.

Los diferenciales autoblocantes y los mandos finales reciben el mismo tipo de lubricación, pero además requieren de aditivos limitadores del deslizamiento (LS: Limited Slip).

Sistema de Ruedas

Las ruedas traseras fundidas y las llantas Cat de montaje central se montan utilizando prisioneros y tuercas para minimizar el mantenimiento y maximizar la durabilidad. También hay disponibles llantas de cambio rápido optativas.

El freno de estacionamiento enfriado por aceite que se conecta por resortes y se desconecta hidráulicamente se aplica a las cuatro ruedas para ofrecer una capacidad de frenado superior en todas las pendientes hasta el 15 por ciento

Líquidos de frenos

Frenar un vehículo consiste en transformar la energía cinética que adquiere al ser una masa en movimiento en otro tipo de energía, que puede ser calor (frenos convencionales) ó energía eléctrica (frenos eléctricos).

El líquido de frenos es un fluido hidráulico que tiene por misión transmitir la fuerza generada en el pedal del freno hasta las pinzas que comprimen las pastillas de freno contra los discos.

Normalmente, en los sistemas de frenos por zapatas ó en los frenos de disco la transformación de la energía cinética del vehículo es a energía calorífica, lo que se produce por la fricción entre las pastillas y el disco. Este calor tiene que ser disipado a la átomosfera por radiación, lo que se consigue gracias a los flujos aerodinámicos del vehículo en movimiento, pero parte de este calor es transmitido a través de los distintos componentes del sistema de freno hasta el líquido de frenos, el cual aumentará su temperatura a fin de disipar calor.

Si la temperatura que alcanza el líquido de frenos es muy alta (constantes frenadas) éste puede alcanzar la temperatura de ebullición, con lo que se formarían burbujas de la fase gaseosa del líquido de frenos. En este punto no podríamos frenar el vehículo, ya que la fuerza realizada en el pedal se emplearía en comprimir el vapor del líquido de frenos.

Para evitar este efecto, los líquidos de frenos son sustancias sintéticas de alto punto de inflamación, pero tienen el inconveniente de ser higroscópicas, es decir absorbedoras de la humedad. Al absorber humedad, el punto de ebullición del líquido baja drásticamente.

Se distinguen así dos puntos de ebullición fundamentales, el seco y el húmedo, con una cierta cantidad de agua en el fluido.

Las propiedades que se requieren serán:

• Alto punto de ebullición seco

• Alto punto de ebullición húmedo

• Estabilidad térmica

• Propiedades lubricantes

• Compatibilidad con juntas, cauchos, elastómeros…

• Compatibilidad con los fluidos de frenos de sus categorías.

Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico es el que cumple la función del camión que es el de cargue y descargue de material, este sistema está encargado en el funcionamiento del levante del volquete y así poder descargar el material transportado, el sistema consta de un una bomba de levante de dos cuerpos, rejillas de levante que se encarga de capturar en primera fase las impurezas que se encuentra en el sistema, dos cilindro de levante que cumplen la función de levantar físicamente al volquete, el tanque hidráulico donde se acumula el aceite , tiene mirillas que indican la posición del aceite, el filtro hidráulico es el encargado de captar las impurezas del sistema, los enfriadores hidráulicos, que refrigera al sistema, el controlador de levante controla los mecanismos del sistema, subida, bajada, flotante y fija.

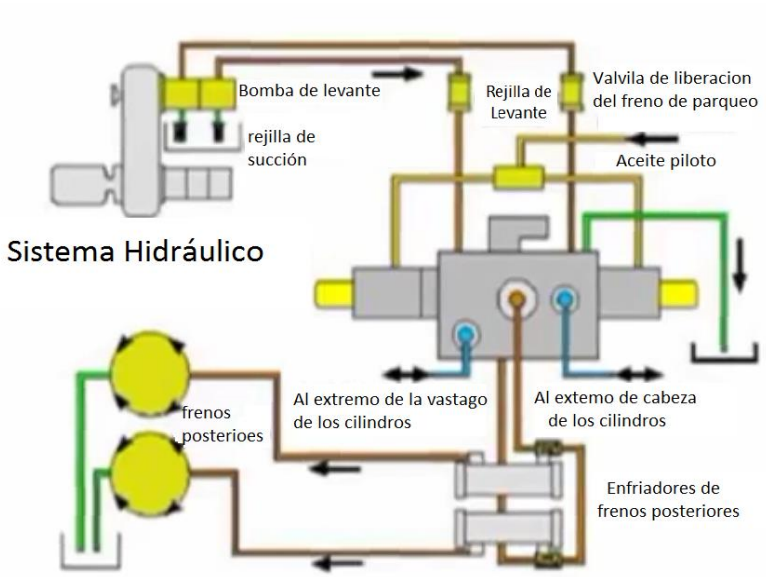


Figura 6: Diagrama del Flujo del Aceite - Camión Cat 785c

La bomba de levante es accionada por un motor de combustión que da el movimiento para que la bomba funcione, la bomba comienza a succionar aceite hidráulico del tanque luego la dirige a la rejillas de levante, estas rejillas son magnéticas que capturan partículas de metal e impurezas, luego el aceite llega a la válvula de control de levante donde llena los compartimientos, un aceite piloto va hacia al control y centra los carretes en posición fija para que el operador realice su operación tanto de subida como de bajada, cuando el sistema no trabaja, la bomba sigue suministrando fluido a todo el sistema , el aceite se dirige al sistema de frenos para ser refrigerado y a los mandos finales y de allí vuelve al tanque hidráulico completando así el circuito del sistema hidráulico.

Figura 7: Sistema Hidráulico - Camión Cat 785c

ACEITES HIDRÁULICOS

Circuitos hidráulicos, los cuales tienen su aplicación debido a la versatilidad que proporcionan dada la amplia gama de movimientos que pueden llegar a realizar, con una transmisión de potencia que puede variar desde valores bajos a muy altos.

En el circuito hidráulico se cuenta como componentes básicos de una bomba, encargada de convertir la energía mecánica en energía hidráulica a inferir al fluido de un caudal presión y actuadores que pueden ser lineales (cilindros) o rotativos (motores) que tienen por misión convertir la energía recibida del fluido en energía mecánica.

Así, las ventajas que se obtienen con el empleo de la hidráulica, son:

• Velocidad variable, actuando sobre el caudal

• Reversibilidad

• Protección a las sobrecargas

• Tamaño reducido

• Bloqueado del sistema

Como medio transmisor de energía se usan los aceites hidráulicos que presentan como ventajas su poca compresibilidad y su tendencia a tomar caminos de menor resistencia, siendo la presión establecida en el sistema generada por la carga de trabajo y proporcional a ella.

Las bombas Hidráulicas empleadas en la transmisión de potencia han de ser de desplazamiento positivo, lo que implica que éstas darán caudal constante. Su objetivo, es dar el caudal y garantizar éste sea cuales sean las resistencias exteriores, por lo que la presión en el fluido será función de la magnitud de estas.

Los principales parámetros que habrá que tener en cuenta en un circuito hidráulico en los que respecta a su funcionamiento serán:

Temperatura de funcionamiento

La temperatura a la que se encuentren en funcionamiento el circuito hidráulico tiene una decisiva importancia en la respuesta posterior que se obtenga del mismo ya que ésta influye directamente sobre las propiedades físico-químicas del fluido.

Viscosidad en el aceite hidráulico

La viscosidad del fluido tendrá que ser controlada, ya que afecta a las propiedades de fricción del fluido, al funcionamiento de la bomba, la cavitación, el consumo de energía, y la capacidad de control del sistema.

Compatibilidad

Tiene gran importancia la compatibilidad del fluido con las juntas de cierre, y los metales, así como ejercer una real protección contra la corrosión de los metales, siendo el cobre uno de los más importantes por actuar como catalizador.

Velocidad de respuesta

De ella depende la precisión de los movimientos de los mecanismos incluidos en el equipo. Depende de la viscosidad y de sus características de incompresibilidad. La combinación de estos parámetros permite al fabricante del equipo definir las principales características que deberá tener un equipo para ser el más adecuado en el circuito.

Además de las enunciadas, a un aceite hidráulico se le deberán pedir, además las siguientes características:

- Índice de viscosidad
- Estabilidad frente al cizallamiento
- Baja compresibilidad
- Buen poder lubricante

- Inerte a materiales y juntas
- Buena desaireación
- Propiedades antiespuma
- Demulsionabilidad

Elementos contaminantes presentes en el aceite

Con la utilización de los métodos descritos anteriormente somos capaces de determinar la presencia de elementos contaminantes en el aceite lubricante. El análisis de estos elementos, metálicos o no, puede proporcionar información sobre el desgaste del motor u otras fuentes de contaminación, tales como polvo atmosférico o fugas del circuito de refrigeración.

En la tabla siguiente se presentan loa elementos contaminantes que se suelen medir en una muestra de aceite de motor así como sus posibles procedencias.

Tabla 6. Elementos contaminantes presentes en el aceite.

ELEMENTO QUIMICO	ORIGEN
Aluminio (Al)	Cojinetes, pistones. Contaminación externa con polvo del ambiente.
Bario (Ba)	Contaminación externa con polvo del ambiente.
Boro(B)	Aditivos del aceite. Trazas de inhibidores del anticongelante (tetraborato de sodio)
Calcio(Ca)	Aditivo detergente (lubricante)
Cobre (Cu)	Cojinetes (Cu-Pb, Sn-Cu) Refrigerante (intercambiadores de cobre)

Cromo (Cr)	Segmentos, camisas, pistones. Barras de válvulas. Inhibidores de corrosión del agua de refrigeración (cromatos de sodio o de potasio)
Estaño (Sn)	Cojinetes (Pb-Sn, Cu-Sn, Al-Sn).Conductos de lubricante.
Fósforo (P)	Aditivo antidesgaste (lubricante). Aditivo antioxidante (lubricante).
Hierro (Fe)	Segmentos. Camisas de cilindros. Levas y balancines, engranajes y cadenas. apoyos o muñequillas del cigüeñal.
Magnesio (Mg)	Aditivos detergentes (lubricante).
Molibdeno (Mo)	Pistones. Segmentos. Aditivo del aceite (MoS2).
Níquel (Ni)	Cilindros. Elementos de la distribución.
Plomo (Pb)	Cojinetes. Aditivo del propio lubricante. Trazas de gasolina.
Silicio (Si)	Polvo atmosférico (SiO 2). Pistones. Camisas de fundición. Aditivos antiespumantes (lubricante). Inhibidores de corrosión del agua de refrigeración. Restos de pastas de juntas y tubos (siliconas).
Zinc (Zn)	Aditivo antioxidación-anticorrosión. Aditivo antifricción.

Fuente: VITERI BONILLA y JARAMILLO HIDALGO, Análisis de la degradación de aceites Lubricantes y propuesta de planes de Mejora para el mantenimiento del equipo pesado.

Hierro (Fierro)

Elemento químico, símbolo Fe, número atómico 26 y peso atómico 55.847. El hierro es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (5%). Es un metal maleable, tenaz, de color gres plateado y magnético. Los cuatro isótopos estables, que se encuentran en la naturaleza, tienen las masas 54, 56, 57 y 58. Los dos minerales principales son la hematita, Fe2O3, y la limonita, Fe2O3.3H2O. Las piritas, FeS2, y la cromita, Fe(CrO2)2, se explotan como minerales de azufre y de cromo, respectivamente. El hierro se encuentra en muchos otros minerales y está presente en las aguas freáticas y en la hemoglobina roja de la sangre.

El uso más extenso del hierro (fierro) es para la obtención de aceros estructurales; también se producen grandes cantidades de hierro fundido y de hierro forjado. Entre otros usos del hierro y de sus compuestos se tienen la fabricación de imanes, tintes (tintas, papel para heliográficas, pigmentos pulidores) y abrasivos (colcótar).

Cromo

Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. Sin embargo, es relativamente suave y dúctil cuando no está tensionado o cuando está muy puro. Sus principales usos son la producción de aleaciones anticorrosivas de gran dureza y resistentes al calor y como recubrimiento para galvanizados. El cromo elemental no se encuentra en la naturaleza. Su mineral más importante por abundancia es la cromita. Es de interés geoquímico el hecho de que se encuentre 0.47% de Cr2O3 en el basalto de la Luna, proporción que es de 3-20 veces mayor que el mismo espécimen terrestre. Sus propiedades mecánicas, incluyendo su dureza y la resistencia a la tensión, determinan la capacidad de utilización. El cromo tiene una capacidad relativa baja de forjado, enrollamiento y propiedades de manejo. Sin embargo, cuando se encuentra absolutamente libre de oxígeno, hidrógeno, carbono y nitrógeno es muy dúctil y puede ser forjado y manejado. Es difícil de almacenarlo libre de estos elementos.

Plomo

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 s 16ºC (61ºF)), de color azuloso, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4ºC (621.3ºF) y hierve a 1725ºC (3164ºF). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. Industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Cobre

Elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita,

azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo.

Estaño

Elemento químico, de símbolo Sn, número atómico 50 y peso atómico 118.69. Se funde a baja temperatura; tiene gran fluidez cuando se funde y posee un punto de ebullición alto, es suave, flexible y resistente a la corrosión en muchos medios. Una aplicación importante es el recubrimiento de envases de acero para conservar alimentos y bebidas. Otros empleos importantes son: aleaciones para soldar, bronces, pletres y aleaciones industriales diversas. Los productos químicos de estaño, tanto inorgánicos como orgánicos, se utilizan mucho en las industrias de galvanoplastia, cerámica y plásticos, y en la agricultura.

Aluminio

Elemento químico metálico, de símbolo Al, número atómico 13, peso atómico 26.9815, que pertenece al grupo IIIAdel sistema periódico. El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades

útiles. Las aleaciones de aluminio son ligeras, fuertes, y de fácil formación para muchos procesos de metalistería; son fáciles de ensamblar, fundir o maquinar y aceptan gran variedad de acabados. Por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

Níquel

Símbolo Ni, número atómico 28, metal duro, blanco plateado, dúctil y maleable. La masa atómica del níquel presente en la naturaleza es 58.71. El níquel tiene cinco isótopos naturales con masas atómicas de 58, 60, 61, 62, 64. También se han identificado siete isótopos radiactivos, con números de masa de 56, 57, 59, 63, 65, 66 y 67. La mayor parte del níquel comercial se emplea en el acero inoxidable y otras aleaciones resistentes a la corrosión. También es importante en monedas como sustituto de la plata. El níquel finamente dividido se emplea como catalizador de hidrogenación.

Silicio

Símbolo Si, número atómico 14 y peso atómico 28.086. El silicio es el elemento electropositivo más abundante de la corteza terrestre. Es un metaloide con marcado lustre metálico y sumamente quebradizo. Por lo regular, es tetravalente en sus compuestos, aunque algunas veces es divalente, y es netamente electropositivo en su comportamiento químico. Además, se conocen compuestos de silicio pentacoordinados y hexacoordinados. El silicio

elemental crudo y sus compuestos intermetálicos se emplean como integrantes de aleaciones para dar mayor resistencia al aluminio, magnesio, cobre y otros metales. El silicio metalúrgico con pureza del 98-99% se utiliza como materia prima en la manufactura de compuestos organosilícicos y resinas de silicona, elastómeros y aceites.

Boro

Elemento químico, B, número atómico 5, peso atómico 10.811. Tiene tres elementos de valencia y se comporta como no metal. Se clasifica como metaloide y es el único elemento no metálico con menos de cuatro electrones en la capa externa. El elemento libre se prepara en forma cristalina o amorfa. La forma cristalina es un sólido quebradizo, muy duro. Es de color negro azabache a gris plateado con brillo metálico. Una forma de boro cristalino es rojo brillante. La forma amorfa es menos densa que la cristalina y es un polvo que va del café castaño al negro. En los compuestos naturales, el boro se encuentra como una mezcla de dos isótopos estables, con pesos atómicos de 10 y 11. El boro y sus compuestos tienen muchas aplicaciones en diversos campos, aunque el boro elemental se emplea principalmente en la industria metalúrgica. Su gran reactividad a temperaturas altas, en particular con oxígeno y nitrógeno, lo hace útil como agente metalúrgico degasificante. Se utiliza para refinar el aluminio y facilitar el tratamiento térmico del hierro maleable. El boro incrementa de manera considerable la resistencia a alta

temperatura, característica de las aleaciones de acero. El boro elemental se emplea en reactores atómicos y en tecnologías de alta temperatura.

Sodio

Elemento químico, símbolo Na, número atómico 11 y peso atómico 22.9898. Es un metal suave, reactivo y de bajo punto de fusión, con una densidad relativa de 0.97 a 20ºC (68ºF). Desde el punto de vista comercial, el sodio es el más importante de los metales alcalinos. El sodio reacciona con rapidez con el agua, y también con nieve y hielo, para producir hidróxido de sodio e hidrógeno. Cuando se expone al aire, el sodio metálico recién cortado pierde su apariencia plateada y adquiere color gris opaco por la formación de un recubrimiento de óxido de sodio. El sodio no reacciona con nitrógeno, incluso a temperaturas muy elevadas, pero puede reaccionar con amoniaco para formar amida de sodio. El sodio y el hidrógeno reaccionan arriba de los 200ºC (390ºF) para formar el hidruro de sodio. El sodio reacciona difícilmente con el carbono, si es que reacciona, pero sí lo hace con los halógenos. También reacciona con varios halogenuros metálicos para dar el metal y cloruro de sodio.

Manganeso

Elemento químico, símbolo Mn, de número atómico 25 y peso atómico 54.938. Es uno de los metales de transición del primer periodo largo de la tabla

periódica; se encuentra entre el cromo y el hierro. Tiene propiedades en común con ambos metales. Aunque poco conocido o usado en su forma pura, reviste gran importancia práctica en la fabricación de acero. El manganeso es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente.

Los compuestos de manganeso tienen muchas aplicaciones en la industria. El dióxido de manganeso se usa como un agente desecante o catalizador en pinturas y barnices y como decolorante en la fabricación de vidrio y en pilas secas. El premanganato de potasio se emplea como blanqueador para decoloración de aceites y como un agente oxidante en química analítica y preparativa.

Molibdeno

Elemento químico, símbolo Mo, con número atómico 42 y peso atómico 95.94; es uno de los elementos de transición. El molibdeno se encuentra en muchas partes del mundo, pero pocos depósitos son lo suficientemente ricos para garantizar la recuperación de los costos. La mayor parte del molibdeno proviene de minas donde su recuperación es el objetivo primario de la operación. El restante se obtiene como un subproducto de ciertas operaciones del beneficio del cobre. El molibdeno forma compuestos en los cuales presenta estados de oxidación, 0, 2+, 3+, 4+, 5+, 6+. No se ha observado como catión ionizable, pero se conocen especies catiónicas como el molibdenilo. La química del molibdeno es extremadamente compleja y, con excepción de los

halogenuros y calcogenuros, son muy pocos los compuestos simples conocidos.

Vanadio

Elemento químico de símbolo V, número atómico 23, peso atómico 50.942. Es un metal que se utilizó inicialmente en aleaciones con hierro y acero. Varios de los compuestos de vanadio se emplean en la industria química, sobre todo en la fabricación de catalizadores de oxidación, y en la industria cerámica como agentes colorantes. En su forma pura es blando y dúctil. Puede trabajarse en caliente y frío fácilmente, pero debe calentarse en una atmósfera inerte o al vacío a causa de que se oxida rápido a temperaturas por encima del punto de fusión de su óxido. El metal retiene muy bien su fuerza a temperaturas elevadas. La resistencia del vanadio a los ácidos clorhídrico y sulfúrico es notable y resiste el ataque del agua salada aereada mejor que la mayor parte de los aceros inoxidables. Sin embargo, el vanadio no resiste al ácido nítrico.

Hollin

Son partículas carbonáceas desprendidas de la combustión de madera, carbón o combustibles, contiene carbón junto con otros componentes (óxidos, ácido sulfúrico, productos de combustión). Aunque generalmente es un producto de desecho, a veces se fabrica para algunas utilidades, como por ejemplo para utilizarlo de pigmento, y se llama negro de carbón. Otros usos son: como fuente para la obtención de germanio (lo contienen algunos carbones), y

algunos usos agrícolas (fertilizante, contra-babosas, para calentamiento solar del suelo)

Oxidación

Es una reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación. La reacción química opuesta a la oxidación se conoce como reducción, es decir cuando una especie química acepta electrones. Estas dos reacciones siempre se dan juntas, es decir, cuando una sustancia se oxida, siempre es por la acción de otra que se reduce. Una cede electrones y la otra los acepta. Por esta razón, se prefiere el término general de reacciones redox. La propia vida es un fenómeno redox. El oxígeno es el mejor oxidante que existe debido a que la molécula es poco reactiva (por su doble enlace) y sin embargo es muy electronegativo, casi como el flúor.

Nitración

Es el proceso por el cual se efectúa la unión del grupo nitro (-NO2) a un átomo de carbono, lo que generalmente tiene efecto por substitución de un átomo de hidrógeno.

Sulfatación

Término que se emplea corrientemente para indicar el deterioro permanente de la batería provocada por la ausencia de agua destilada o por las impurezas presentes en ella.

La sulfatación se debe al recubrimiento de las placas de plomo por parte de los sulfatos (de plomo) insolubles en el agua. De este modo, se interrumpe la transformación en óxido de plomo que se produce con la acción del ácido sulfúrico, y el paso de cargas eléctricas deja de producirse.

También, el recubrimiento de los born s de la batería por unos cristales blancos es una sulfatación producida por los vapores de electrólitos que se liberan normalmente durante la carga

2.2.2. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Camión Caterpillar 785C:

El Camión Caterpillar 785C ha sido ideado para proporcionar mayor rendimiento, diseñado para ofrecer mayor comodidad y fabricado para que perdure. El modelo 785C, desarrollado especialmente para la construcción y la minería de alta producción, mantiene el traslado de grandes volúmenes de material a un costo por tonelada más bajo. La construcción resistente crea una máquina duradera. Su uso es especialmente para el traslado de grandes cantidades de material (tierra, minerales, etc).

Mantenimiento:

Es el proceso en el cual se revisa a la maquinaria de algún desperfecto o algún posible defecto de las camiones Caterpillar 785C.

Sistema de Control de las Funciones Vitales (VIMS):

Proporciona a los operadores y al personal mecánico y administrativo, información sobre el funcionamiento y producción de la máquina.

El VIMS es un sistema integrado, diseñado por Caterpillar, que controla las prestaciones de la máquina proporcionando información en tiempo real sobre las funciones críticas de la máquina. El VIMS permite controlar muchos de los sistemas de la máquina y optimizar su funcionamiento mediante un rápido intercambio información que se utiliza para que la 785C trabaje siempre con la máxima productividad.

La espectroscopia:

La espectroscopia es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia, con absorción o emisión de energía radiante. Tiene aplicaciones en química, física y astronomía, entre otras disciplinas científicas.

Partes por millón:

Partes por millón (ppm) es la unidad de medida con la que se evalúa la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de la sustancia (agente, etc) que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo en un millón

de granos de arroz, si se pintara uno de negro, este grano representaría una (1) parte por millón. Se abrevia como "ppm".

CTS (centistoke):

Es una unidad de medida física sobre la viscosidad, Un aceite delgado es menos resistente a fluir. Por eso su viscosidad es baja. Un aceite grueso es más resistente a fluir y por eso tiene una viscosidad más alta. Las viscosidades de los aceites normalmente son medidas y especificadas en centistoke (cSt) a 40°C o 100°C. Frecuentemente se habla de esta viscosidad como viscosidad dinámica o viscosidad cinemática. Esto es la viscosidad absoluta dividido por la densidad del aceite.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3. HIPÓTESIS Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.1. Hipótesis

Los factores que influyen en el mantenimiento por lubricante de los camiones Cat-785C– del proyecto Pierina CMBM, son significativos.

3.2. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICES	ESCALA
Dependiente:				
Mantenimiento por lubricante	Flota de camiones en el área de mantenimiento	Historial de registros de mantenimiento	Camión en Mantenimiento (Si, No)	Nominal
Independiente: Factores				
Horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C en reparación	Estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C en reparación	Historial de registros de horas de estancia en reparación	Mantenimiento	Escala de razón
Horas del lubricante	Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C	Historial de registros de las horas del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Viscosidad del Lubricante	Grado de Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C	Historial de registros de los grados del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón

Fierro (ppm) en el lubricante	Contenido de Fierro	Historial de registros de la Contenido de Fierro del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Cromo (ppm) en el lubricante	Contenido de Cromo	Historial de registros de la Contenido de Cromo del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Plomo (ppm) en el lubricante	Contenido de Plomo	Historial de registros de la Contenido de Plomo del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Cobre (ppm) en el lubricante	Contenido de Cobre	Historial de registros de la Contenido de Cobre del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Estaño (ppm) en el lubricante	Contenido de Estaño	Historial de registros de la Contenido de Estaño del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Aluminio(ppm) en el lubricante	Contenido de Aluminio	Historial de registros de la Contenido de Aluminio del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Níquel(ppm) en el lubricante	Contenido de Níquel	Historial de registros de la Contenido de Níquel del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Silicio(ppm) en el lubricante	Contenido de Silicio	Historial de registros de la Contenido de Silicio del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón

Boro (ppm) en el lubricante	Contenido de Boro	Historial de registros de la Contenido de Boro del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Sodio (ppm) en el lubricante	Contenido de Sodio	Historial de registros de la Contenido de Sodio del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Magnesio (ppm) en el lubricante	Contenido de Magnesio	Historial de registros de la Contenido de Magnesio del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón
Vanadio (ppm) en el lubricante	Contenido de Vanadio	Historial de registros de la Contenido de Vanadio del lubricante	Mantenimiento	Escala de razón

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4. METODOLOGÍA

4.1. MATERIALES Y LUGAR DE EJECUCIÓN

4.1.1. LUGAR

Proyecto Pierina CMBM – Área de Mantenimiento.

4.1.2. MATERIALES

El presente trabajo de tesis requirió principalmente de materiales como: papel bond de 80 gramos, material de escritorio, equipo de cómputo, USB, copias fotostáticas, impresiones, libros e internet.

4.1.3. RECURSO HUMANO

01 profesional docente encargado de la asesoría.

02 bachilleres responsables de llevar a cabo la investigación

01 Mecánico

4.2. MÉTODOS

Para el análisis de las variables se utilizó el método descriptivo, porque se utilizó tablas de frecuencias y gráficos estadísticos; además se utilizó medidas de tendencia central y dispersión, con información actual.

4.2.1. DISEÑO

El presente trabajo de tesis es de diseño no experimental, de tipo descriptivo correlacional.

4.2.2. POBLACIÓN O UNIVERSO

La población de la presente investigación está conformada por los registros históricos de los camiones Caterpillar 785C desde el año 2008 al 2011.

4.2.3. UNIDAD DE ANÁLISIS Y MUESTRA

Muestra

Se realizó un muestreo al 100% (censo) de todos los registros del 2008 al 2011.

Unidad de Análisis

La unidad de análisis es un registro tomado a una unidad vehicular camión CAT.

4.2.4. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el presente trabajo de investigación se utilizó los registros de inspección y control vehicular.

4.2.5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para este análisis se utilizó la técnica estadística de los Modelos de regresión logística, para ello se utilizó el programa SPSS v20.0 lo cual permitió obtener información respecto a nuestros objetivos permitiéndonos su análisis e interpretación.

REGRESIÓN LOGÍSTICA

La regresión logística es un instrumento estadístico de análisis bivariado o multivariado, de uso tanto explicativo como predictivo. Resulta útil su empleo cuando se tiene una variable dependiente dicotómica (un atributo cuya ausencia o presencia se ha puntuado con los valores cero y uno, respectivamente) y un conjunto de *m* variables predictores o independientes, que pueden ser cuantitativas (que se denominan covariables o covariadas) o categóricas. En este último caso, se requiere que sean transformadas en variables ficticias o simuladas (“dummy”).

El propósito del análisis es:

- Predecir la probabilidad de que a “alguien” le ocurra cierto evento: por ejemplo, “estar desempleado” =1 o “no estarlo” = 0; “ser pobre” = 1 o “no ser pobre” = 0; “graduarse como sociólogo” =1 o “no graduarse” = 0; “ir a mantenimiento”=1 o “no ir a mantenimiento”=0.
- Determinar qué variables pesan más para aumentar o disminuir la probabilidad de que a “alguien” le suceda el evento en cuestión.

Esta asignación de probabilidad de ocurrencia del evento a un cierto sujeto, así como la determinación del peso que cada una de las variables dependientes en esta probabilidad, se basan en las características que presentan los sujetos a los que, efectivamente, les ocurren o no estos sucesos. Por ejemplo, la regresión logística tomará en cuenta los valores que asumen en una serie de variables (edad, sexo, nivel educativo, posición en el hogar, origen migratorio, componentes químicos, etc.) los sujetos que están efectivamente desocupados (= 1) y los que no lo están (= 0). En base a ello, predecirá a cada uno de los sujetos – independientemente de su estado real y actual – una determinada probabilidad de ser desocupado (es decir, de tener valor 1 en la variable dependiente). Es decir, si alguien es un joven no amo de casa, con baja educación y de sexo masculino y origen emigrante (aunque esté ocupado) el modelo le predecirá una alta probabilidad de estar desocupado (puesto que la tasa de desempleo del grupo así

definido es alta), generando una variable con esas probabilidades estimadas. Y procederá a clasificarlo como desocupado en una nueva variable, que será el resultado de la predicción. Además, analizará cuál es el peso de cada uno de estas variables independientes en el aumento o la disminución de esa probabilidad. Por ejemplo, cuando aumenta la educación disminuirá en algo la probabilidad de ser desocupado. En cambio, cuando el sexo pase de 0 = "mujer" a 1 = "varón", aumentará en algo la probabilidad de desempleo porque la tasa de desempleo de los jóvenes de sexo masculino es mayor que la de las mujeres jóvenes. El modelo, obviamente, estima los coeficientes de tales cambios.

Cuanto más coincidan los estados pronosticados con los estados reales de los sujetos, mejor ajustará el modelo. Uno de los primeros indicadores de importancia para apreciar el ajuste del modelo logístico es el doble logaritmo del estadístico de verosimilitud (likelihood). Se trata de un estadístico que sigue una distribución similar a X^2 y compara los valores de la predicción con los valores observados en dos momentos: (a) en el modelo sin variables independientes, sólo con la constante y (b) una vez introducidas las variables predictoras. Por lo tanto, el valor de la verosimilitud debiera disminuir sensiblemente entre ambas instancias e, idealmente, tender a cero cuando el modelo predice bien.

REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA

Los modelos de regresión logística binaria resultan los de mayor interés. Como se ha visto, la variable dependiente será una variable dicotómica que se codificará como 0 ó 1 (respectivamente, "ausencia" y "presencia"). Este aspecto de la codificación de las variables no es banal (influye en la forma en que se realizan los cálculos matemáticos), y habrá que tenerlo muy en cuenta si se emplean paquetes estadísticos que no recodifican automáticamente las variables cuando éstas se encuentran codificadas de forma diferente (por ejemplo, el uso frecuente de 1 para la presencia y –1 ó 2 para la ausencia).

La ecuación de partida en los modelos de regresión logística es:

$$\Pr(y = 1|x) = \frac{\exp(b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i)}{1 + \exp(b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i)} \quad (1)$$

Dónde:

- Pr (y = 1 | X) es la probabilidad de que tome el valor 1 (presencia de la característica estudiada), en presencia de las covariables X ;
- X es un conjunto de n covariables $\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ que forman parte del modelo;
- b_0, es la constante del modelo o término independiente;

- b_i, los coeficientes de las covariables.

REQUISITOS Y ETAPAS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA

- Recodificar las variables independientes categóricas u ordinales en variables ficticias o simuladas y de la variable dependientes en 0 y 1;
- Evaluar efectos de confusión y de interacción del modelo explicativo;
- Evaluar la bondad de ajuste de los modelos;
- Analizar la fuerza, sentido y significación de los coeficientes, sus exponenciales y estadísticos de prueba (Wald).

ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES DEL MODELO Y DE SUS ERRORES ESTÁNDAR

Para la estimación de los coeficientes del modelo y de sus errores estándar se recurre al cálculo de estimaciones de máxima verosimilitud, es decir, estimaciones que hagan máxima la probabilidad de obtener los valores de la variable dependiente y proporcionada por los datos de nuestra. Estas estimaciones no son de cálculo directo, como ocurre en el caso de las estimaciones de los coeficientes de regresión de la regresión lineal múltiple por el método

de los mínimos cuadrados. Para el cálculo de estimaciones máximo–verosímiles se recurre a métodos iterativos, como el método de Newton–Raphson.

Dado que el cálculo es complejo, normalmente hay que recurrir al uso de rutinas de programación o a paquetes estadísticos. De estos métodos surgen no sólo las estimaciones de los coeficientes de regresión, sino también de sus errores estándar y de las covarianzas entre las covariables del modelo.

El siguiente paso será comprobar la significación estadística de cada uno de los coeficientes de regresión en el modelo. Para ello se pueden emplear básicamente tres métodos: el estadístico de Wald, el estadístico G de razón de verosimilitud y la prueba Score.

EL ESTADÍSTICO DE WALD

Contrasta la hipótesis de que un coeficiente aislado es distinto de 0, y sigue una distribución normal de media 0 y varianza 1. Su valor para un coeficiente concreto viene dado por el cociente entre el valor del coeficiente y su correspondiente error estándar. La obtención de significación indica que dicho coeficiente es diferente de 0 y merece la pena su conservación en el modelo. En modelos con errores estándar grandes, el estadístico de Wald puede proporcionar falsas ausencias de significación (es decir, se incrementa el error tipo II).

Tampoco es recomendable su uso si se están empleando variables de diseño.

EL ESTADÍSTICO *G* DE RAZÓN DE VEROSIMILITUD

Se trata de ir contrastando cada modelo que surge de eliminar de forma aislada cada una de las covariables frente al modelo completo. En este caso cada estadístico *G* sigue una χ^2 con un grado de libertad (no se asume normalidad). La ausencia de significación implica que el modelo sin la covariable no empeora respecto al modelo completo (es decir, da igual su presencia o su ausencia), por lo que según la estrategia de obtención del modelo más reducido (principio de parsimonia), dicha covariable debe ser eliminada del modelo ya que no aporta nada al mismo. Esta prueba no asume ninguna distribución concreta, por lo que es la más recomendada para estudiar la significación de los coeficientes.

LA PRUEBA SCORE

Su cálculo para el caso de una única variable viene dado por:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\bar{y}(1-\bar{y}) \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}} \qquad (2)$$

En el caso de múltiples covariables hay que utilizar cálculo matricial, si bien no requiere un cálculo iterativo (precisamente su rapidez de cálculo sería su aspecto más favorable). En contra del mismo dos aspectos:

a) Se sabe que este estadístico se incrementa conforme aumenta el número de covariables (es decir tiende a dar significación con mayor frecuencia).

b) Este estadístico también asume una distribución normal con media 0 y varianza 1.

Al igual que en los casos anteriores, si alcanza significación indica que la covariable debería permanecer en el modelo. Su uso en algunos paquetes estadísticos ha quedado relegado a la selección de variables en métodos paso a paso (por la mayor rapidez de cálculo).

Cuando la covariable es cualitativa con ***n*** categorías (siendo ***n > 2***), en el modelo se analizará la significación de cada una de sus ***n −1*** variables ficticias, así como la significación global de la covariable comparando la presencia en bloque frente a la ausencia en bloque de sus ***n*** −1 covariables ficticias.

LAS VARIABLES SIMULADAS (DUMMY)

A veces se necesita incorporar al modelo de regresión logística variables independientes que no son numéricas sino categóricas. Supóngase, por ejemplo, que se quiere predecir la probabilidad de una persona de “ser pobre”.

Tal vez resulte importante incorporar variables que no son cuantitativas: por ejemplo, la categoría ocupacional (“empleador”, “trabajador por cuenta propia”, “asalariado” “trabajador sin remuneración”). En este caso, esta variable podría ser incorporada a la ecuación si se la transforma en una variable simulada.

Ello consiste en generar n −1 variables dicotómicas con valores cero y uno, siendo n el número de categorías de la variable original. Para el caso de la variable categoría ocupacional, la transformación sería la siguiente:

Se crearían tres variables dicotómicas: la primera de ellas sería “empleador”. Quien lo sea tendrá valor 1 en esa variable y valor cero en las variables “cuenta propia” y “asalariado”. Los “por cuenta propia” tendrán valor 1 en la segunda variable y cero en las otras, etc. No se necesita crear, en cambio, una variable llamada “trabajador sin remuneración”: lo será quien tenga valores cero en las tres anteriores. Esta última es la categoría “base” de las variables simuladas.

Una vez realizada esta transformación, estas variables pueden ser incorporadas en una ecuación de regresión: sus valores sólo pueden variar entre cero y uno y sus coeficientes b indicarán, en cada caso, cuanto aumentan o disminuyen los "odds" de probabilidad del evento que se procura predecir cuándo una de estas variables pasa de cero a uno (por ejemplo, cuando alguien es un empleador, seguramente la probabilidad de que sea pobre disminuirá, lo que se expresará en un coeficiente b negativo en la ecuación logística).

FUNCIÓN DE VEROSIMILITUD

Se sabe que cualquier variable dependiente de una u otras variables, toma valores según los valores de las variables de las que depende. Por otra parte, esa variable dependiente irá tomando valores siguiendo o describiendo una determinada distribución de frecuencias; es decir, tomen los valores que tomen las variables independientes, si el experimento se repite múltiples veces, la variable dependiente tomará para esos valores de las independientes un determinado valor, y la probabilidad de ocurrencia de dicho valor vendrá dado por una distribución de frecuencias concreta: una distribución normal, una distribución binomial, una distribución hipergeométrica, etc. En el caso de una variable dependiente dicotómica (como el caso que nos ocupa), la distribución de frecuencias que seguirá será la binomial, que depende de la tasa de éxitos (X sujetos de un total de N , que sería

el elemento variable), para un determinado tamaño muestral N y probabilidad Pr (•) de ocurrencia del evento valorado por la variable dependiente (parámetros constantes).

Sea $\theta = (\theta_1, \ldots, \theta_k)$ Procedimiento para obtener el E.M.V de θ_j dada una muestra particular $(x_1, \ldots, x_n)$:

1. Escribir la verosimilitud: $\mathcal{L}(\theta) = \mathcal{L}(x_1, \ldots, x_n; \theta)$
2. Escribir el logaritmo de la verosimilitud: $\ell(\theta) = \ln \mathcal{L}(\theta)$

   $\ell(\theta)$ se llama ***función soporte*** o ***log-verosimilitud.***
3. Obtener θ_j el tal que:

$$\frac{\partial}{\partial \theta_j} \ell(\theta) = 0$$

   Y denotarlo por: $\hat{\theta}_j$.
4. Comprobar que realmente es un maximo, es decir, que:

$$\frac{\partial^2}{\partial \theta_j^2} \ell(\theta)|_{\theta_j = \hat{\theta}_j} < 0$$

MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON

Se trata de un método iterativo, empleado en diversos problemas matemáticos, como en la determinación de las raíces de ecuaciones, y en el presente caso, en la estimación de los coeficientes de regresión β por el procedimiento de máxima verosimilitud.

Por facilidad de cálculo toda la formulación se expresará en forma de matrices. Las particularidades del cálculo matricial escapan del ámbito de este documento. Téngase presente la base de datos (una tabla con filas y columnas). Se dispondrá de:

- Una variable Y , que es la variable dependiente. Expresada como matriz será una matriz de N filas y una columna, cuyo contenido será de ceros y unos (ya que se trata de una variable dicotómica).

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_{n-1} \\ y_n \end{pmatrix} \qquad (3)$$

- Un conjunto de M covariables, que pueden expresarse como una matriz de N filas y M columnas. Sin embargo, dado que el modelo contiene una constante, ésta se puede expresar como una columna adicional en la que todos sus elementos son "1". Por tanto la matriz X queda como una matriz con N filas y (M +1) columnas, de la forma:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,2} & \cdots & x_{1,m+1} \\ 1 & x_{2,2} & \cdots & x_{2,m+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n,2} & \cdots & x_{n,m+1} \end{bmatrix} \qquad (4)$$

- Y por último un conjunto de coeficientes de regresión β , uno para cada covariable, incluida la covariable creada para la constante, con una fila y (M +1) columnas

$$\beta = (\beta_1, \quad \beta_2, \quad \ldots, \quad \beta_{m+1}) \qquad (5)$$

El proceso se inicia construyendo la función de verosimilitud (likelihood function) de la ecuación de regresión logística:

$$L(\beta) = p_i^{\sum y_i}(1 - p_i)^{(N-\sum y_i)} \qquad (6)$$

o mejor, su transformación logarítmica (log likelihood):

$$LL(\beta) = \sum y_i \ln(p_i) + \left(N - \sum y_i\right) ln(1 - p_i) \qquad (7)$$

donde p_i es la probabilidad de ocurrencia de y =1 con los valores muestrales de las covariables

$X = (x_1, \quad x_2, \quad \cdots, \quad x_{m+1})$ para el sujeto $i = (1, \quad 2, \quad \ldots, \quad N)$ El valor $2LL(\beta)$ se llama devianza y mide en qué grado el modelo se ajusta a los datos: cuanto menor sea su valor, mejor es el ajuste.

Se trata de conocer aquellos valores de β que hacen máxima la función de verosimilitud (o su logaritmo). Se sabe que si se iguala a cero la derivada parcial de una función respecto a un parámetro, el resultado es unos valores de dicho parámetro que hacen llevar a la función a un valor máximo o un valor mínimo (un punto de inflexión de la curva). Para confirmar que se trata de un máximo y no de un mínimo, la segunda derivada de la función respecto a dicho parámetro debe ser menor de cero.

La primera derivada de $LL(\beta)$ respecto de β (llamada función score) en su forma matricial es:

$$U(\beta) = \frac{\partial LL(\beta)}{\partial(\beta)} = X'(Y - p) \qquad (8)$$

donde: p es una matriz de N filas y una columna que contiene las probabilidades de cada individuo de que tengan su correspondiente evento y_i

La segunda derivada, llamada matriz informativa o hessiana, es:

$$H(\beta) = \frac{\partial^2 LL(\beta)}{\partial\beta\partial\beta} = -X'WX \qquad (9)$$

donde: W es una matriz diagonal1 de n filas y n columnas, en la que los elementos de su diagonal vienen dados por los respectivos productos $p_i (1 - p_i)$, de manera que W queda de la forma siguiente:

$$Y = \begin{bmatrix} p_1(1-p_1) & o & \dots & 0 \\ 0 & p_2(1-p_2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & p_n(1-p_n) \end{bmatrix} \qquad (10)$$

y para cada fila su p_i es:

$$p_i = \frac{1}{1 + exp\left(-\sum_{j=1}^{m+1} \beta_j x_{ij}\right)} \qquad (11)$$

Una vez se dispone todos los elementos necesarios, se procede a explicar como tal el método iterativo para la determinación de los coeficientes de regresión.

Se le asigna un valor inicial empírico a los coeficientes de regresión, en general cero a todos ellos En cada iteración t la matriz de nuevos coeficientes de regresión experimentales resulta de sumar matricialmente un gradiente a la matriz de coeficientes experimentales del paso anterior. Este gradiente es el resultado del cociente entre la primera derivada y la segunda derivada de la función de verosimilitud de la ecuación de regresión.

$$\hat{\beta}_t = \hat{\beta}_{t-1} + \left(X' W_{t-1} X\right)' X' (Y - p_{t-1}) \qquad (12)$$

El segundo paso se repite tantas veces como sea necesario hasta que la diferencia entre la matriz decoeficientes de regresión en dicha iteración y la matriz de la iteración previa, sea 0 o prácticamente 0 (por ejemplo $<10^{-6}$). Los paquetes estadísticos suelen tener un límite de iteraciones que pueden modificarse si no se obtiene convergencia inicialmente. SPSS® tiene además otras condiciones de parada:

- LL(β) muy cercana a cero;
- Diferencia entre LL(β) de dos iteraciones consecutivas muy cercana a cero.

Una vez finalizadas las iteraciones, la inversa de la matriz informativa de la última iteración ofrece los valores de varianzas y covarianzas de las estimaciones de los coeficientes de regresión estimados. En concreto, el error estándar de cada coeficiente de regresión coincide con la raíz cuadrada del elemento respectivo de la diagonal principal (es decir el elemento (1,1) sería el cuadrado del error estándar del coeficiente β_1, el elemento (2,2) el cuadrado del error estándar del coeficiente β_2, y así sucesivamente).

Por debajo de esta diagonal quedan las covarianzas de cada pareja de covariables (es decir, el elemento (2,1) es la covarianza de β_1 y β_2 , el elemento (3,2) es la covarianza de β_2 y β_3 , etc.). Hay programas estadísticos que ofrecen esta matriz de varianzas y covarianzas; SPSS® no lo hace, sino que ofrece la matriz de correlaciones. En ese caso se podrá calcular la matriz de varianzas y covarianzas sabiendo que la covarianza de dos variables es igual al producto del coeficiente de correlación de ambas (r) y los dos respectivos errores estándar:

$$cov(\beta_1, \beta_2) = r(\beta_1, \beta_2) ee(\beta_1) ee(\beta_2) \qquad (13)$$

Entender esta formulación y el algoritmo de las iteraciones puede ser de gran utilidad, pues con conocimientos básicos de programación facilita el desarrollo de rutinas propias, por ejemplo en VisualBasic® dentro de una base de datos de Access®.

EVALUACION DEL CONTRASTE DE LA RAZON DE VEROSIMILITUD (-2LL$_0$)

El estadístico -2LL$_0$ es muy importante en la regresión logística.

Dónde:

- L, indica el logaritmo neperiano
- L$_0$, indica la verosimilitud

Su valor puede oscilar entre 0 y 1, por lo que -2LL$_0$ oscila entre 0 a $+\infty$.

Permite contrastar la siguiente hipótesis nula:

H$_0$: El modelo se ajusta perfectamente.

H$_1$: El modelo no se ajusta perfectamente.

El estadístico -2LL$_0$ se distribuye con una $x^2_{(n-p,\propto)}$

Dónde:

$p = k + 1$ (k, numero de variables incluidas en el modelo.

$\propto$, es la significancia de la prueba.

Se rechaza hipótesis nula, si -2LL$_0 > x^2_{(n-p,\propto)}$

MODELO DE REGRESIÓN LOGÍSTICA MULTIPLE

En estadística, la regresión logística es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir el resultado de una variable categórica (una variable que puede adoptar un número limitado de categorías) en

función de las variables independientes o predictoras. Es útil para modelar la probabilidad de un evento ocurriendo como función de otros factores. El análisis de regresión logística se enmarca en el conjunto de Modelos Lineales Generalizados (GLM por sus siglas en inglés). Las probabilidades que describen el posible resultado de un único ensayo se modelan, como una función de variables explicativas.

$$y = \frac{exp\left(\beta_{i,0} + \beta_i x_1 + \beta_{i,2} x_2 + \cdots + \beta_{i,m} x_m\right)}{1 + exp\left(\beta_{i,0} + \beta_i x_1 + \beta_{i,2} x_2 + \cdots + \beta_{i,m} x_m\right)} \qquad (14)$$

MEDIDAS DE CONFIABILIDAD DEL MODELO

Desvianza

Es similar a la suma de cuadrados del error de la regresión lineal y se define como:

$$D = -2 \sum_{i=1}^{n} \left(y_i log \left(\frac{\hat{p}}{y_i} \right) + (1 - y_i) log \frac{1-\hat{p}}{1-y_i} \right) \qquad (15)$$

Si bajo la hipótesis, asintóticamente es la misma distribución chi – cuadrada de Pearson, Es decir se distribuye $x^2_{(n-(k+1))}$ y mide la

discrepancia o el desvió entre el modelo bajo investigación o actual y el modelo saturado.

La hipótesis estadística a evaluar son:

H_0: No existe diferencia entre el modelo estimado y el modelo saturado.

H_1: Existe diferencia entre el modelo estimado y el modelo saturado.

Cuando el modelo bajo estudio es verdadero, se compara el valor D con el valor crítico $x^2_{(n-p)}$ de una distribución Chi – cuadrada a un nivel de significancia igual a $\propto$, por lo tanto:

Si: $D > x^2_{(n-p)}$, el modelo se rechaza.

Si: $D \leq x^2_{(n-p)}$, el modelo no se rechaza, donde p = k + 1.

R^2 DE COX SNELL

Es una medida análoga del coeficiente de determinación en la regresión lineal múltiple, que cuantifica la proporción de la variación explicada en el modelo de regresión logística. Sus valores oscilan entre 0 y 1.

Su expresión es la siguiente:

$$R_L^2 = 1 - \left[\frac{-2LL_{nulo}}{-2LL_{modelo}}\right]^{\frac{2}{N}} \qquad (16)$$

Dónde:

$-2LL_{nulo}$, es la verosimilitud del modelo con tan solo la constante.

$-2LL_{modelo}$, es el modelo que se está considerando.

- N, tamaño de la muestra.

ESTADÍSTICOS INFLUENCIALES PARA REGRESIÓN LOGÍSTICA

Existen varios tipos de residuales que permiten cotejar si una observación es influencial o no.

Residuales de Pearson

Definidos como:

$$r_i = \frac{y_i - m_i\hat{p}_i}{\sqrt{m_i\hat{p}_i(1-\hat{p}_i)}} \qquad (17)$$

donde y_i representa el número de veces que y =1 entre las m_i repeticiones de X_i si los valores de la variable de respuesta están agrupadas, El residual de Pearson es similar al residual estudentizado usado en regresión lineal. Así, un residual de Pearson mayor que 2 indica un dato anormal.

Si el modelo es correcto, los residuales de Pearson serán variables de media cero y varianza unidad que pueden servir para hacer el diagnóstico de dicho modelo. El estadístico $x_0^2 = \sum_{i=1}^{k} e_i^2$ permite realizar un contraste global de la bondad del ajuste. Se distribuye asintóticamente como una χ^2 con (n − k −1) grados de libertad, donde k +1 es el número de parámetros en el modelo.

En lugar de los residuos de Pearson se pueden utilizar, también, las desviaciones o pseudo residuos definidos por:

$$D_i = -2sign(y_i - m_i p_i)\sqrt{y_i log\frac{m_i p_i}{y_i} + (m_i - y_i) log\frac{m_i(1-\hat{p}_i)}{m_i - y_i}} \qquad (18)$$

Si la devianza es mayor que 4 entonces la observación correspondiente es anormal.

Uso de la regresión logística en clasificación

Para efectos de clasificación la manera más fácil de discriminar es considerar que si p > 0,5 entonces la observación pertenece a la clase que interesa. Pero algunas veces esto puede resultar injusto sobre todo si se conoce si una de las clases es menos frecuente que la otra.

Métodos alternativos son:

a) Representar gráficamente el porcentaje de observaciones que poseen el evento (o sean que pertenecen al grupo (1) y que han sido correctamente clasificadas (sensibilidad) frente a distintos niveles de probabilidad y el porcentaje de observaciones de la otra clase que han sido correctamente clasificadas (especificidad) frente a los mismos niveles de probabilidad anteriormente usados, en la misma gráfica. La probabilidad que se usará para clasificar las observaciones se obtienen cortando las dos curvas.

DIAGNÓSTICO EN REGRESIÓN LOGÍSTICA

Verificar que el modelo es adecuado, (bondad de ajuste):

- Con datos agrupados: deviancia residual;
- Con datos individuales hace falta una referencia, que puede obtenerse a partir del modelo saturado, siempre que se trabaje con pocas variables y éste sea estimable;
- Otros estadísticos:

  $\frac{\sum(O-E)^2}{E}$ sobre cada observación;

  – Hosmer y Lemeshow: $\frac{\sum(O-E)^2}{E}$ sobre 10 categorías de p.

MODELOS PREDICTIVOS

El objetivo del modelo puede ser:

- Generar una ecuación con capacidad predictiva, como una clasificación (análisis discriminante);
- Buscar qué factores tienen capacidad predictiva

Si la respuesta es la aparición de un evento, pueden llamarse modelos pronósticos. En este tipo de estudios es típico contar con un gran número de variables a explorar.

MÉTODOS DE SELECCIÓN AUTOMÁTICA

Hacia adelante

1. Se inicia con un modelo vacío (sólo α);
2. Se ajusta un modelo y se calcula el p valor de incluir cada variable por separado;
3. Se selecciona el modelo con la más significativa;
4. Se ajusta un modelo con la(s) variable(s) seleccionada(s) y se calcula el p valor de añadir cada variable no seleccionada por separado;
5. Se selecciona el modelo con la más significativa;
6. Se repite 4 –- 5 hasta que no queden variables significativas para incluir.

Hacia atrás

1. Se inicia con un modelo con TODAS las variables candidatas;
2. Se eliminan, una a una, cada variable y se calcula la pérdida de ajuste al eliminar;
3. Se selecciona para eliminar la menos significativa;
4. Se repite 2 – 3 hasta que todas las variables incluidas sean significativas y no pueda eliminarse ninguna sin que se pierda ajuste.

Stepwise

1. Se combinan los métodos adelante y atrás;
2. Puede empezarse por el modelo vacío o por el completo, pero en cada paso se exploran las variables incluidas, por si deben salir y las no seleccionadas, por si deben entrar;
3. No todos los métodos llegan a la misma solución necesariamente;

CONSIDERACIONES

- Criterio exclusivamente estadístico: no se tienen en cuenta otros "conocimientos" sobre las variables más interesantes a incluir (aunque se puede forzar a que algunas variables siempre estén en el modelo);

- Si hay un conjunto de variables muy correlacionadas, sólo una será seleccionada;
- No es fácil tener en cuenta interacciones entre variables (los modelos deben ser jerárquicos).

VALORACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DEL MODELO

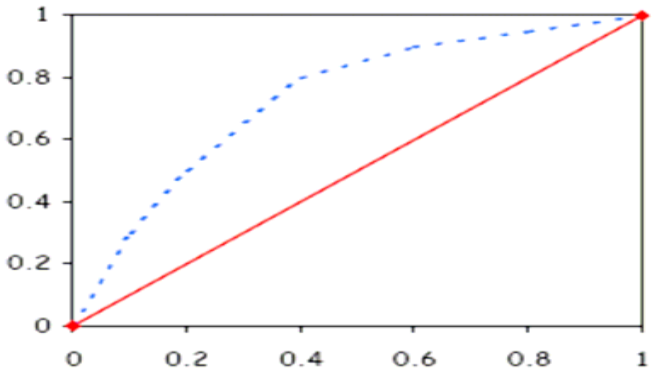
- El modelo permite calcular una predicción del resultado en escala de probabilidad;
- Puede decidirse clasificar un individuo en el grupo de sucesos si su probabilidad supera un valor π :

$$clasificación = \begin{cases} Pr > \pi => y_e = 1 \\ Pr \leq \pi => y_e = 0 \end{cases} \qquad (19)$$

Clasificación:

- Sensibilidad = VP/(VP+FN)
- Especificidad = VN/(VN+FP)
- Área bajo la curva ROC construida para todos los posibles puntos de corte de π para clasificar los individuos:

Grafica N° 01 De la curva ROC



Cálculo del área bajo la curva ROC

- Guardar los valores que predice el modelo (esperados)
- Calcular la U de Mann-Whitney respecto a los esperados:

$$AUC = 1 - \frac{U}{n_1 n_0} \qquad (20)$$

Donde n_1 y n_0 son respectivamente el número esperado de "1" y "0".

Elección del punto de corte óptimo

- Debe optimizarse la sensibilidad y la especificidad, y elegir un punto según la naturaleza del modelo predictivo.
- El cambio en el punto de corte corresponde a emplear diferentes constantes en el modelo logístico.
- Con frecuencia la constante estimada,α , consigue una sensibilidad y especificidad máxima, pero puede no ser el caso.

Validación del modelo

- El cálculo de la capacidad predictiva (CP) del modelo sobre la misma muestra que lo generó siempre es optimista, y debe validarse;
- Diferentes estrategias:

- Probar el modelo en otra muestra diferente;
- Elaborar el modelo con un 75 % de la muestra y calcular la CP en el 25 % restante;
- Usar la misma muestra, pero calcular los indicadores de CP mediante técnicas de bootstrap o validación cruzada, que corrigen el "optimismo".

Odds-proporcionales

- Se compara un promedio de los posibles logia acumulados (respecto a la primera categoría):

- Cada logit tiene una constante diferente pero comparten el coeficiente de las covariables.
- Modelo de odds proporcionales:

$$logit(y > y_k|Z) = \alpha_k + \beta_z \qquad (21)$$

donde $y = 1,2,\ldots,C$;

$k = 2,3,\ldots,C$.

- Supone que el cambio entre diferentes puntos de corte de la respuesta es constante (β), pero parte de diferentes niveles (α_k).

Elementos de interés en regresión logística

- Parámetros: (α ,β)
- Matriz de varianza–covarianza:

$$\sum = \begin{bmatrix} var(\alpha) & cov(\alpha, \beta_1) & cov(\alpha, \beta_1) \\ cov(\alpha, \beta_1) & var(\beta_1) & cov(\alpha, \beta_1) \\ cov(\alpha, \beta_1) & cov(\alpha, \beta_1) & var(\beta_2) \end{bmatrix} \quad (22)$$

- Valor de log L cuando es máximo:
  - – "Likelihood value"
  - Tiene asociados unos "grados de libertad": g.l. = #observaciones – #parámetros – 1

CAPÍTULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

i. Horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C

De la tabla 7, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 58,950 horas en condición de mantenimiento y de 58,727 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 58,427 horas en condición de mantenimiento y de 54,832 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 57,868 horas en condición de mantenimiento y de 56,390 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 64,664 horas en condición de mantenimiento y de 50,512 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 61,212 horas en condición de mantenimiento y de 48,851 horas en condición de no mantenimiento.

Tabla 7. ***Estadísticos descriptivos de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	58950	25867	2366	63375	4837	102496
	No	58727	23700	436	63012	6380	100176
Hidráulico	**Si**	58427	25484	2690	62099	4837	102496
	No	54832	24945	452	56163	6380	101627
Mandos	**Si**	57868	26191	4778	61334	4837	102496
	No	56390	24523	919	60879	6380	100176
Ruedas	**Si**	64664	24052	3569	69436	5102	102496
	No	50512	24227	1868	49189	4837	102417
Transmisión	**Si**	61212	24874	2602	65420	4837	102496
	No	48851	26129	485	44181	5356	101314
Motor	**Si**	75861	17326	1687	76959	11309	102496
	No	51200	25114	2116	49070	4837	102417

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio de horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C es de 75,861 horas en condición de mantenimiento y de 51,200 horas en condición de no mantenimiento.

Tabla 8. ***Área bajo la curva ROC de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.493	.014	.625	.465	.520
Hidráulico	.458	.014	.004	.430	.486
Mandos	.480	.010	.058	.461	.500
Ruedas	.335	.008	.000	.320	.350
Transmisión	.364	.014	.000	.336	.392
Motor	.224	.007	.000	.209	.238

Fuente: Historial de registro

De la tabla 8 y figura 8, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 49.3%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.625 > \alpha=0.05$). Ello significa que las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.3%, más se debe al azar que producto de la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 45.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.004 < \alpha=0.05$). Ello significa que las horas

de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 45.8%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 48.0%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.058 > \alpha=0.05$). Ello significa que las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.0%, más se debe al azar que producto de la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 33.5%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 33.5%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 36.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 36.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 22.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 22.4%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 9:

- En el sistema diferencial, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en

los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos (homogéneos) que los camiones que no cuentan con. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

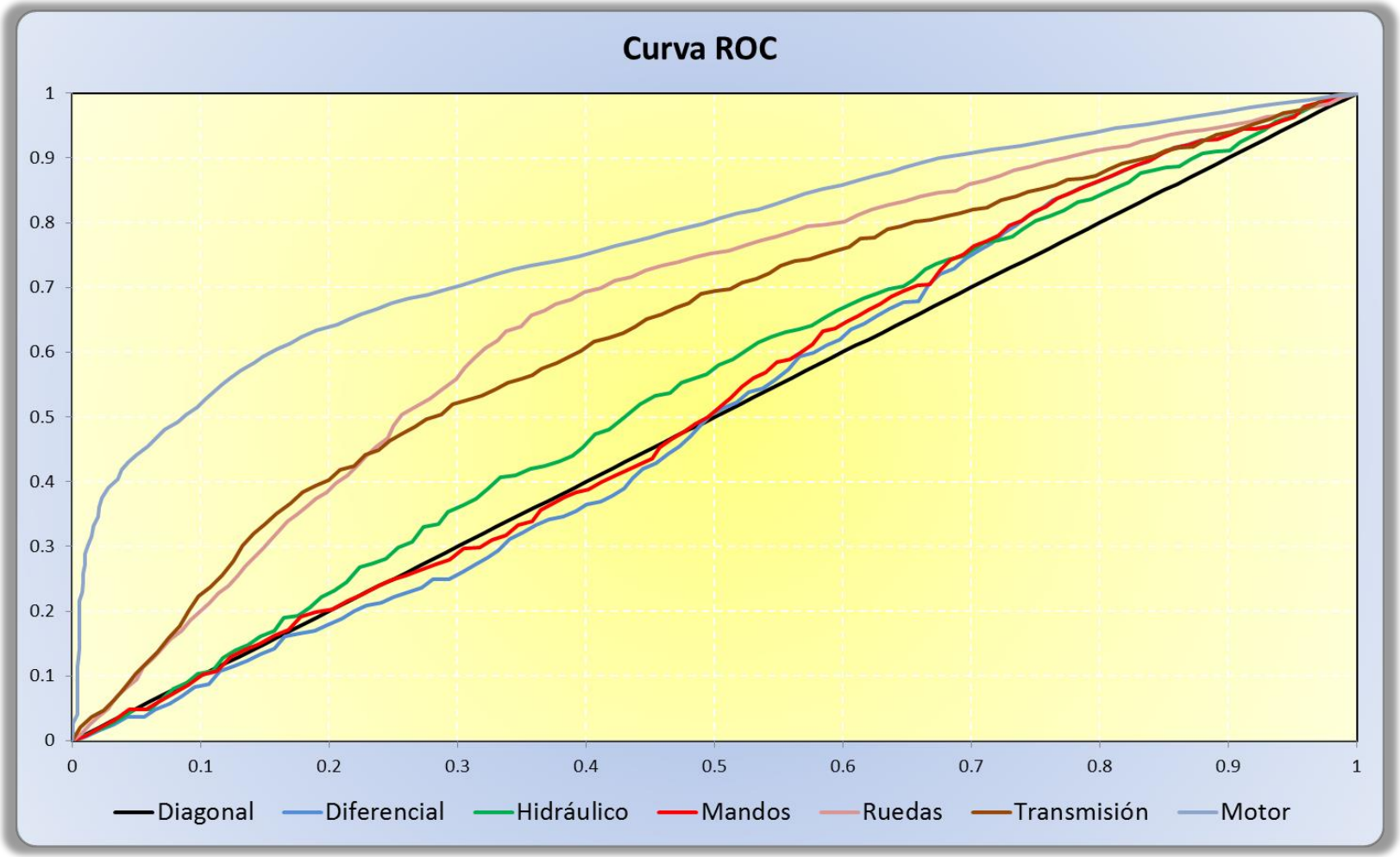


Figura 8. Curva ROC de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C.

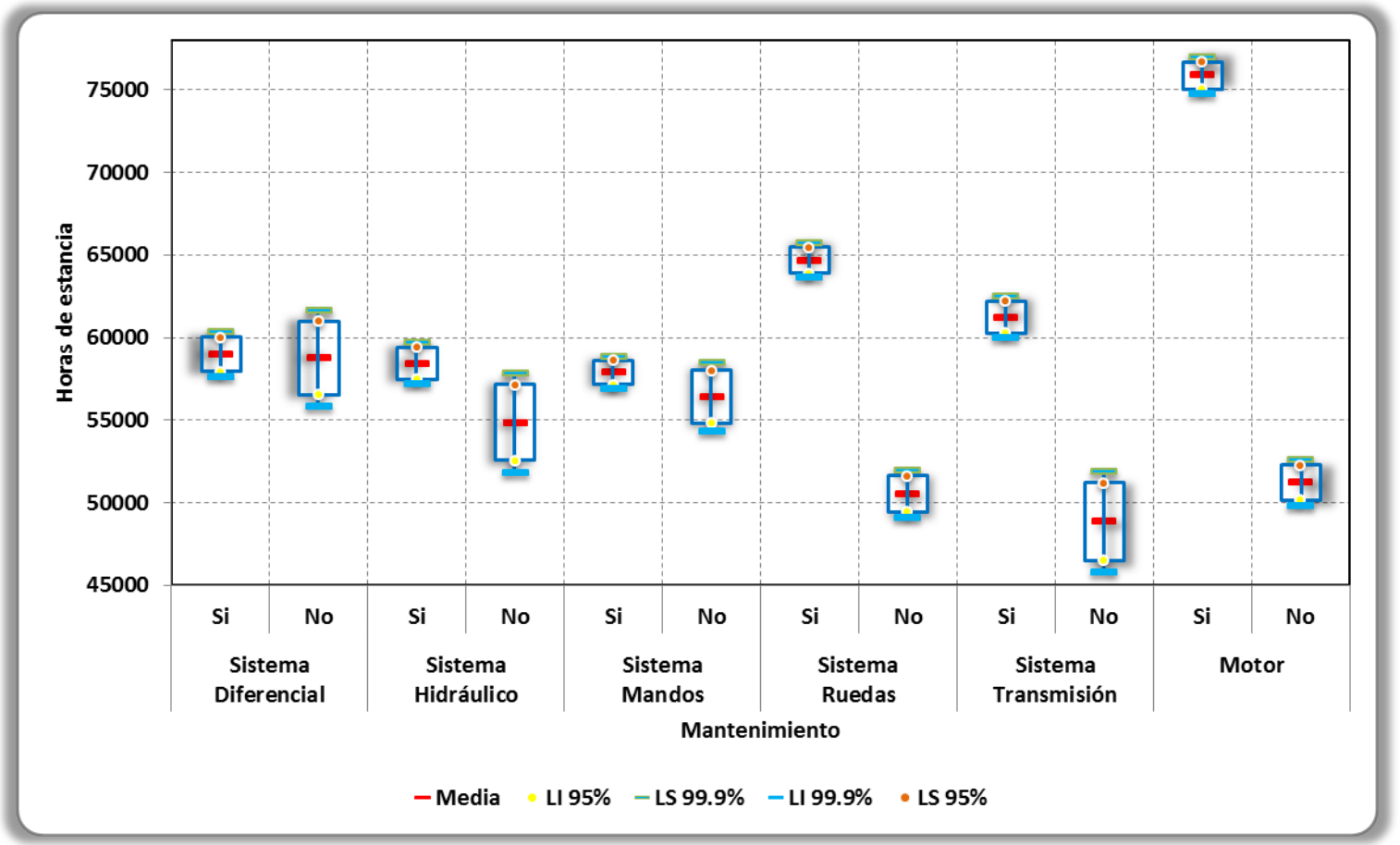


Figura 9. Diagrama de Cajas de las horas de estancia de las flotas de camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

ii. Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C.

De la tabla 9, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 1,583 horas en condición de mantenimiento y de 2,341 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 1,566 horas en condición de mantenimiento y de 2,147 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 1,505 horas en condición de mantenimiento y de 2,133 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 963 horas en condición de mantenimiento y de 1,091 horas en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 1,439 horas en condición de mantenimiento y de 1,921 horas en condición de no mantenimiento.

Tabla 9. ***Estadísticos descriptivos del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Horas del aceite					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	1583	2677	2366	1160	0	60318
	No	2341	3726	436	1904	9	60879
Hidráulico	**Si**	1566	1379	2690	1248	0	27214
	No	2147	1408	452	2060	10	8416
Mandos	**Si**	1505	2329	4778	1139	0	60318
	No	2133	3057	919	1755	0	60879
Ruedas	**Si**	963	2312	3569	570	0	59745
	No	1091	2183	1868	813	0	60318
Transmisión	**Si**	1439	1168	2602	1112	1	10249
	No	1921	1266	485	1528	22	8086
Motor	**Si**	292	142	1687	285	0	1690
	No	471	146	2116	517	0	2326

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C es de 292 horas en condición de mantenimiento y de 471 horas en condición de no mantenimiento.

Tabla 10. ***Área bajo la curva ROC del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.643	.015	.000	.615	.672
Hidráulico	.642	.014	.000	.614	.669
Mandos	.629	.010	.000	.608	.649
Ruedas	.609	.008	.000	.594	.624
Transmisión	.633	.013	.000	.608	.658
Motor	.836	.007	.000	.823	.848

Fuente: Historial de registro

De la tabla 10 y figura 10, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 64.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 64.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 64.2%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 64.2%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 62.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 62.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 60.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 60.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 63.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 63.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 83.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 83.6%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 11:

- En el sistema diferencial, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones..

- En el sistema de mandos, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en

los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

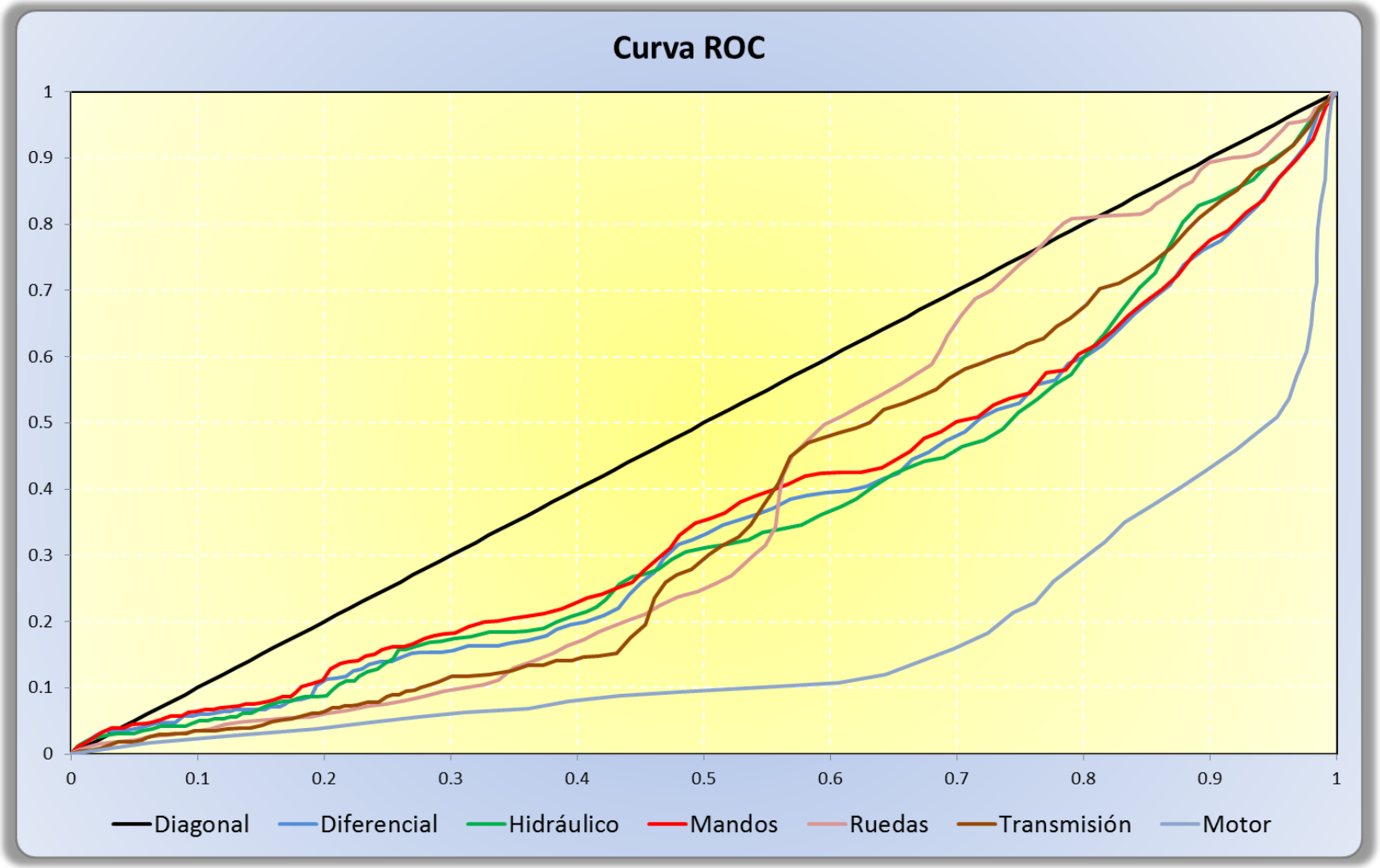


Figura 10. Curva ROC del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C.

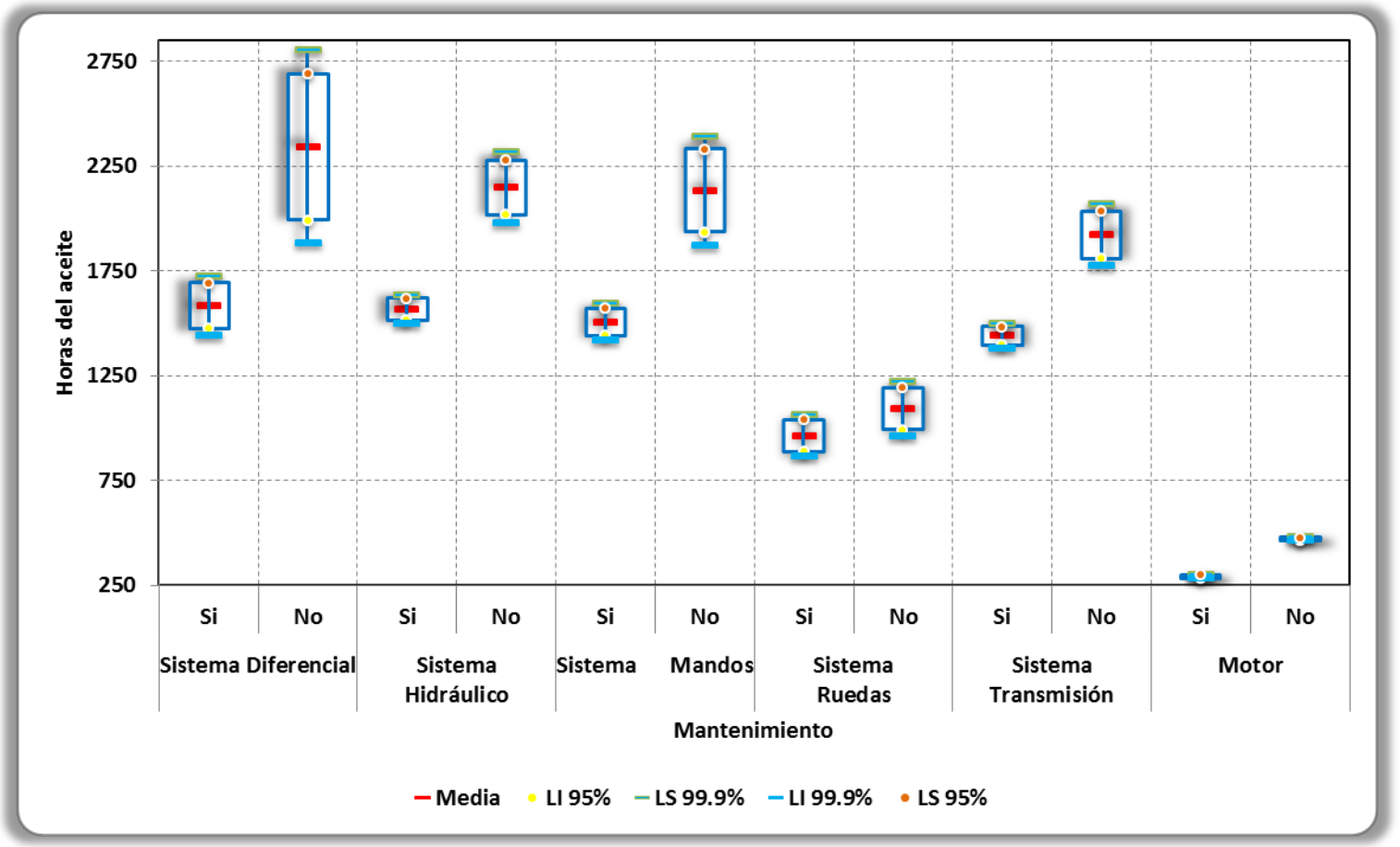


Figura 11. Diagrama de Cajas del Tiempo del lubricante en el motor de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

iii. Viscosidad del Lubricante.

De la tabla 11, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 2.276 cts en condición de mantenimiento y de 2,251 cts en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 625 cts en condición de mantenimiento y de 624 cts en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 2.273 cts en condición de mantenimiento y de 2,240 cts en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 2.184 cts en condición de mantenimiento y de 2,026 cts en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 1.048 horas en condición de mantenimiento y de 1.051 cts en condición de no mantenimiento.

Tabla 11. ***Estadísticos descriptivos de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Viscosidad a 100 °C (cts)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	2276	97	2366	2285	243	2448
	No	2251	143	436	2274	986	2426
Hidráulico	**Si**	625	60	2690	619	0	2280
	No	624	41	452	618	522	1394
Mandos	**Si**	2273	88	4778	2283	262	3000
	No	2240	149	919	2269	875	2426
Ruedas	**Si**	2184	298	3569	2233	0	8281
	No	2026	500	1868	2182	0	2837
Transmisión	**Si**	1048	61	2602	1046	0	2207
	No	1051	58	485	1057	754	1499
Motor	**Si**	1456	1381	1687	1407	0	14719
	No	1428	1102	2116	1375	14	13886

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio de la Viscosidad del Lubricante de los Camiones Caterpillar 785C es de 1.456 cts en condición de mantenimiento y de 1.428 cts en condición de no mantenimiento.

Tabla 12. ***Área bajo la curva ROC de la Viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.447	.015	.000	.417	.477
Hidráulico	.481	.015	.197	.452	.510
Mandos	.428	.010	.000	.408	.449
Ruedas	.356	.008	.000	.340	.372
Transmisión	.543	.016	.003	.512	.573
Motor	.324	.009	.000	.306	.341

Fuente: Historial de registro

De la tabla 12 y figura 12, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 44.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 44.7%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 48.1%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.197 > \alpha=0.05$). Ello significa que la

viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.1%, más se debe al azar que producto de la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 42.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 42.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 35.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 35.6%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 54.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.003 < \alpha=0.05$). Ello significa que la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 54.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 32.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 32.4%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 13:

- En el sistema diferencial, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así

mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor dispersión en los datos (heterogéneo), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más concentrados (homogéneo). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

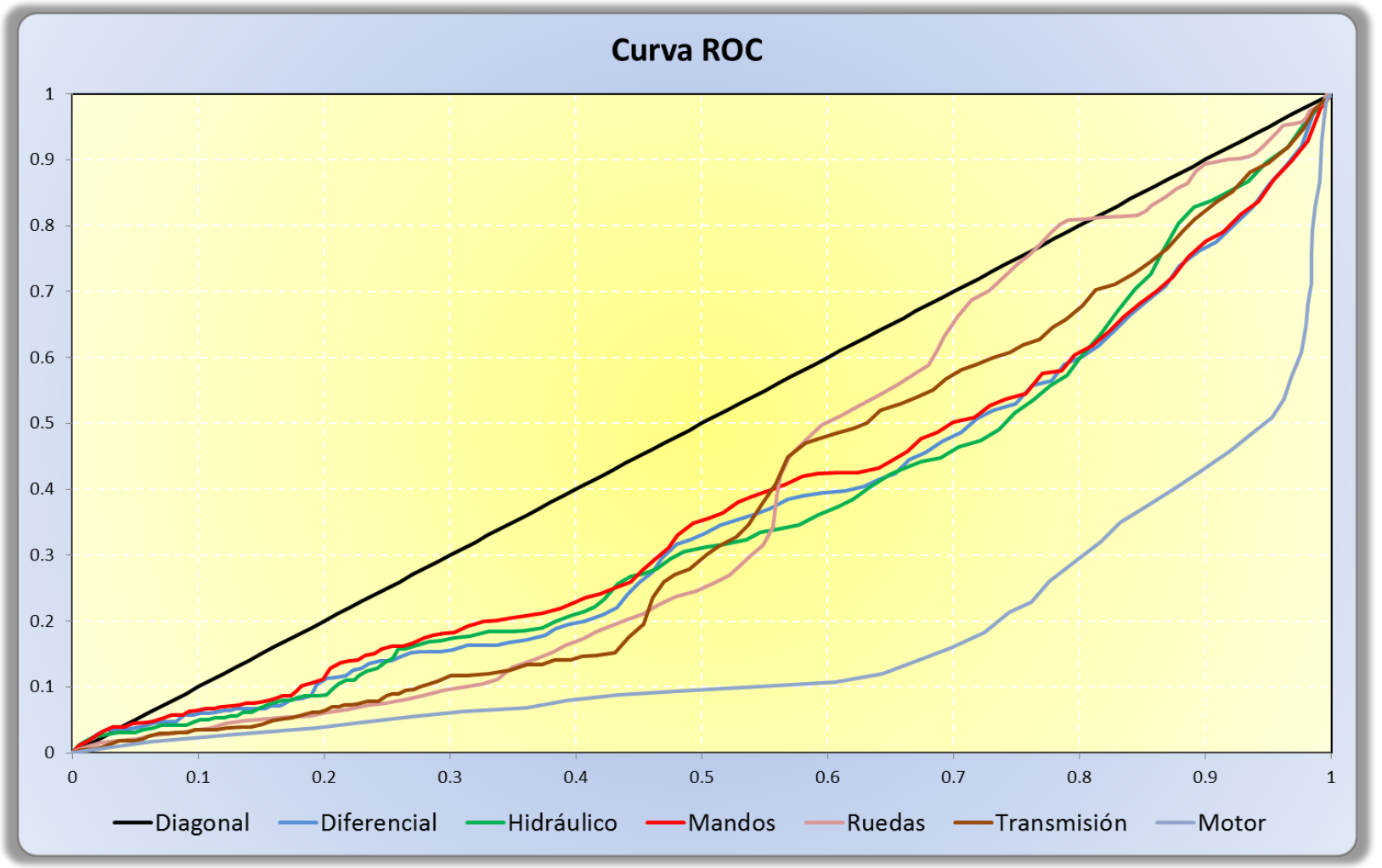


Figura 12. Curva ROC de la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

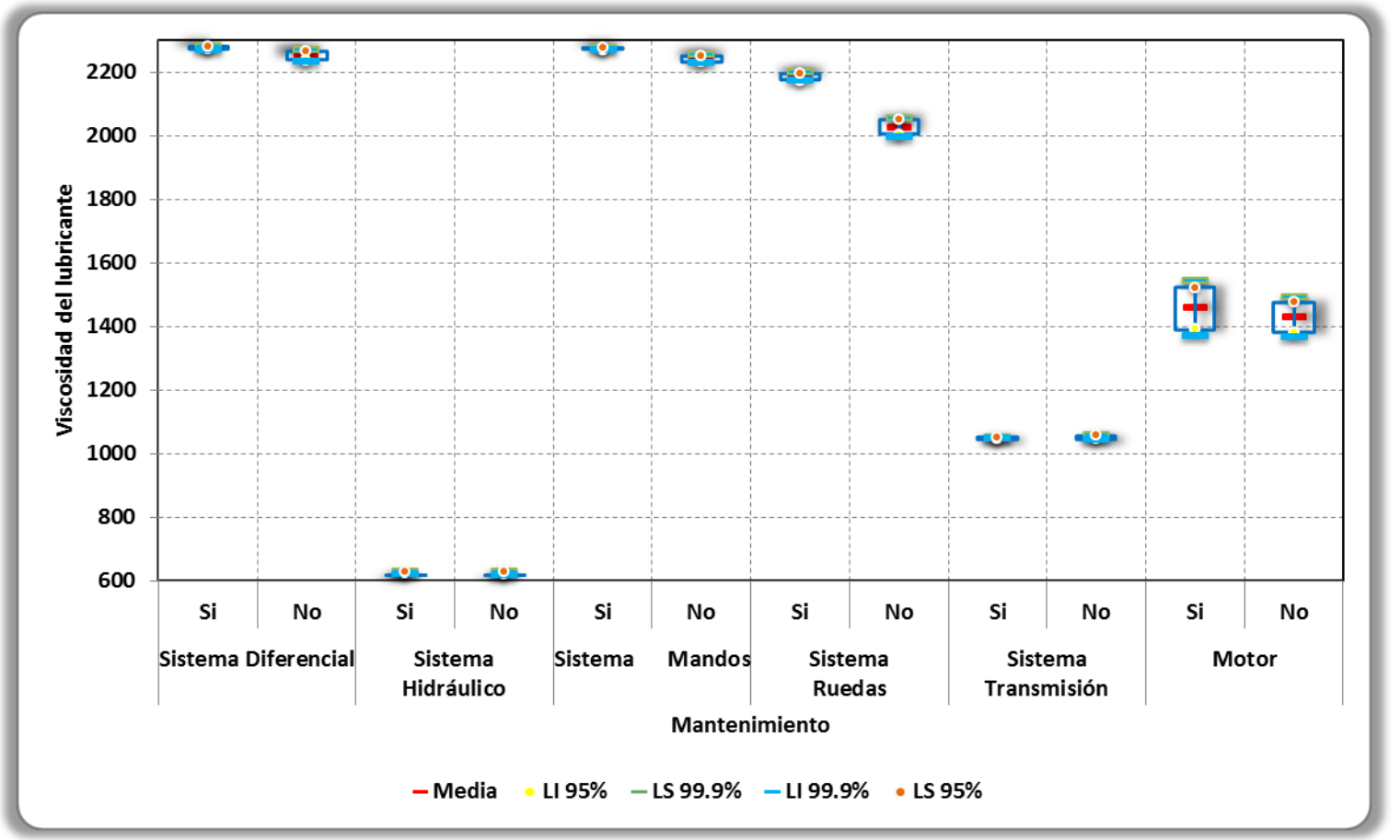


Figura 13. Diagrama de Cajas de la viscosidad del lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

iv. Contenido de Fierro (ppm).

De la tabla 13, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 15 ppm en condición de mantenimiento y de 26 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 8 ppm en condición de mantenimiento y de 13 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 15 ppm en condición de mantenimiento y de 25 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 10 ppm en condición de mantenimiento y de 18 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 6 ppm en condición de mantenimiento y de 8 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 13. ***Estadísticos descriptivos del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Fierro (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	15	9	2366	13	1	106
	No	26	16	436	22	2	95
Hidráulico	**Si**	8	6	2690	7	1	162
	No	13	23	452	9	1	411
Mandos	**Si**	15	12	4778	13	1	518
	No	25	16	919	21	2	106
Ruedas	**Si**	10	11	3569	8	0	493
	No	18	32	1868	12	2	947
Transmisión	**Si**	6	4	2602	6	1	51
	No	8	6	485	7	0	73
Motor	**Si**	11	8	1687	10	0	147
	No	17	10	2116	15	1	80

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C es de 11 ppm en condición de mantenimiento y de 17 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 14. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Fierro en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.733	.014	.000	.706	.760
Hidráulico	.645	.014	.000	.618	.673
Mandos	.724	.010	.000	.704	.743
Ruedas	.670	.008	.000	.655	.686
Transmisión	.597	.015	.000	.568	.627
Motor	.673	.009	.000	.656	.690

Fuente: Historial de registro

De la tabla 14 y figura 17, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 73.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 73.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 64.5%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 64.5%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 72.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 72.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 67.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 67.0%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 59.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 59.7%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 67.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 67.3%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 15:

- En el sistema diferencial, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de fierro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

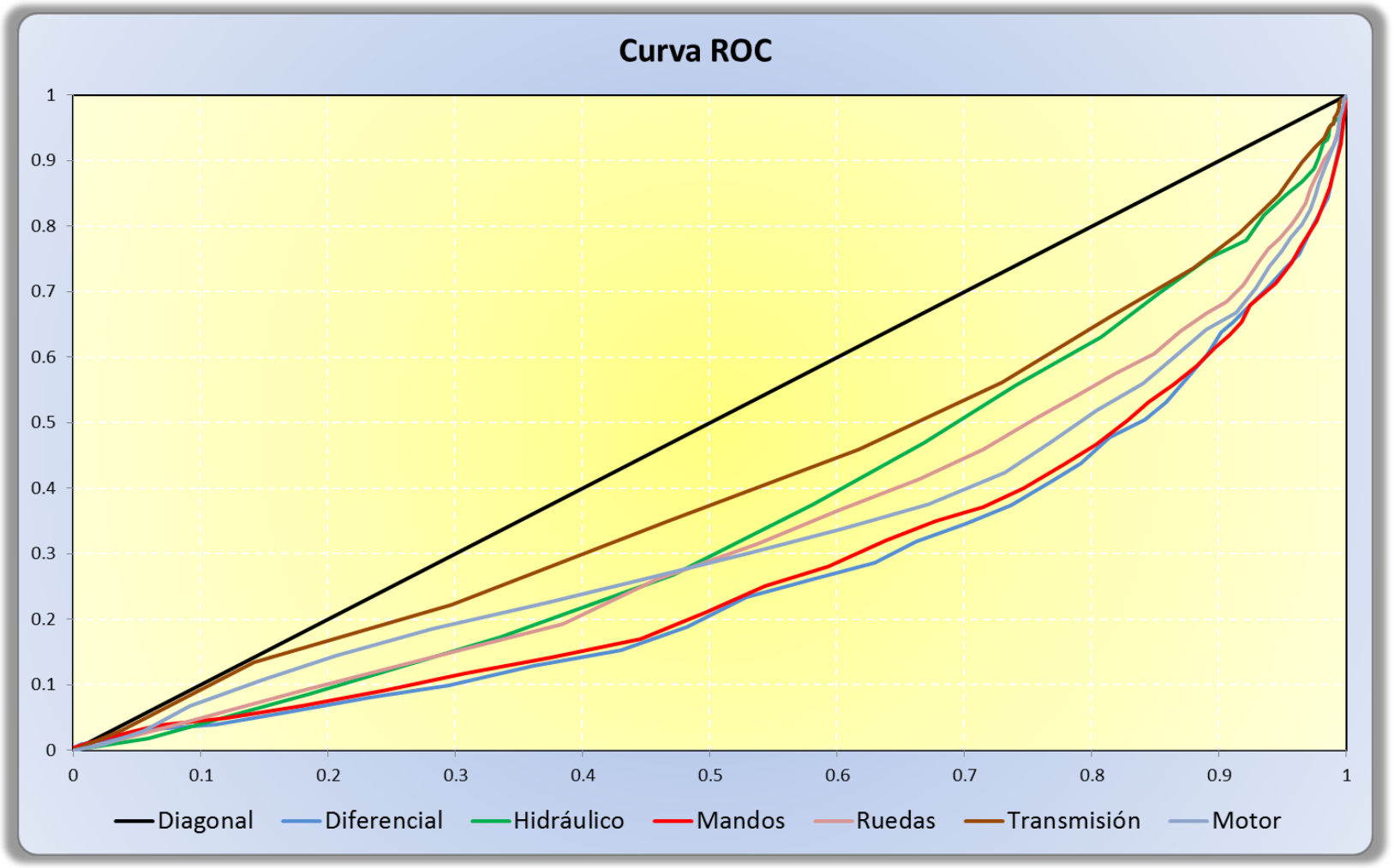


Figura 14. Curva ROC del contenido de fierro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

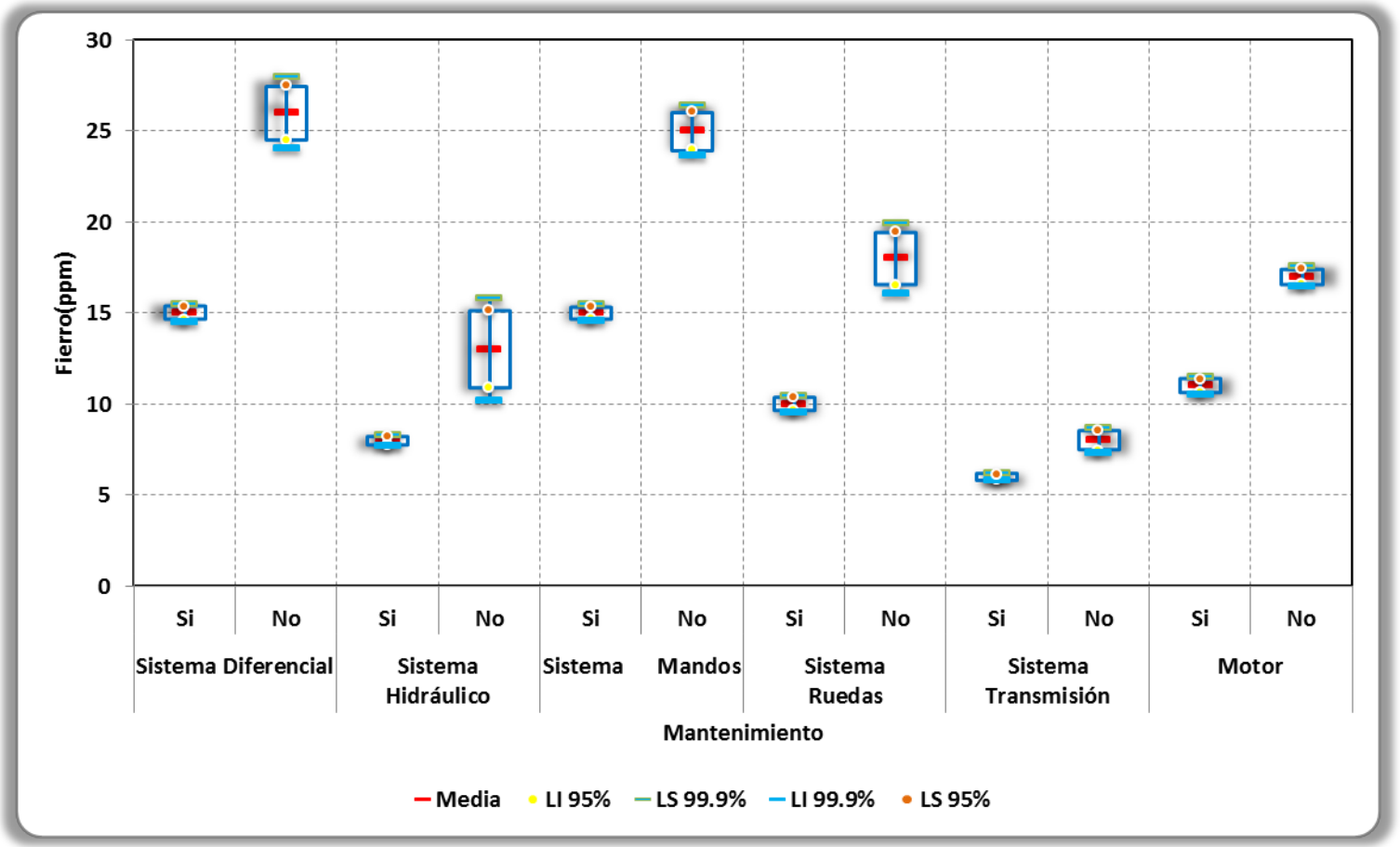


Figura 15. Diagrama de Cajas del contenido de fierro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

v. Contenido de Cromo (ppm).

De la tabla 15, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.13 ppm en condición de mantenimiento y de 0.23 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.07 ppm en condición de mantenimiento y de 1.28 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.14 ppm en condición de mantenimiento y de 0.22 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.11 ppm en condición de mantenimiento y de 0.18 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.10 ppm en condición de mantenimiento y de 0.09 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 15. ***Estadísticos descriptivos del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Cromo (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	0.13	0.34	2366	0	0	3
	No	0.23	0.43	436	0	0	2
Hidráulico	**Si**	1.07	0.63	2690	1	0	5
	No	1.28	0.79	452	1	0	5
Mandos	**Si**	0.14	0.36	4778	0	0	7
	No	0.22	0.43	919	0	0	3
Ruedas	**Si**	0.11	0.33	3569	0	0	3
	No	0.18	0.44	1868	0	0	5
Transmisión	**Si**	0.10	0.30	2602	0	0	3
	No	0.09	0.29	485	0	0	1
Motor	**Si**	0.47	0.52	1687	0	0	6
	No	0.53	0.52	2116	1	0	5

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.47 ppm en condición de mantenimiento y de 0.53 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 16. ***Área bajo la curva ROC del contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.550	.016	.001	.519	.580
Hidráulico	.565	.015	.000	.536	.595
Mandos	.544	.011	.000	.523	.565
Ruedas	.529	.008	.000	.513	.545
Transmisión	.498	.014	.905	.470	.526
Motor	.530	.009	.002	.511	.548

Fuente: Historial de registro

De la tabla 16 y figura 16, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 55.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.001 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 55.0%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 56.5%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 56.5%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 54.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 54.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 52.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 52.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 49.8%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.905 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.8%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 53.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.002 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 53.0%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 17:

- En el sistema diferencial, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de cromo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

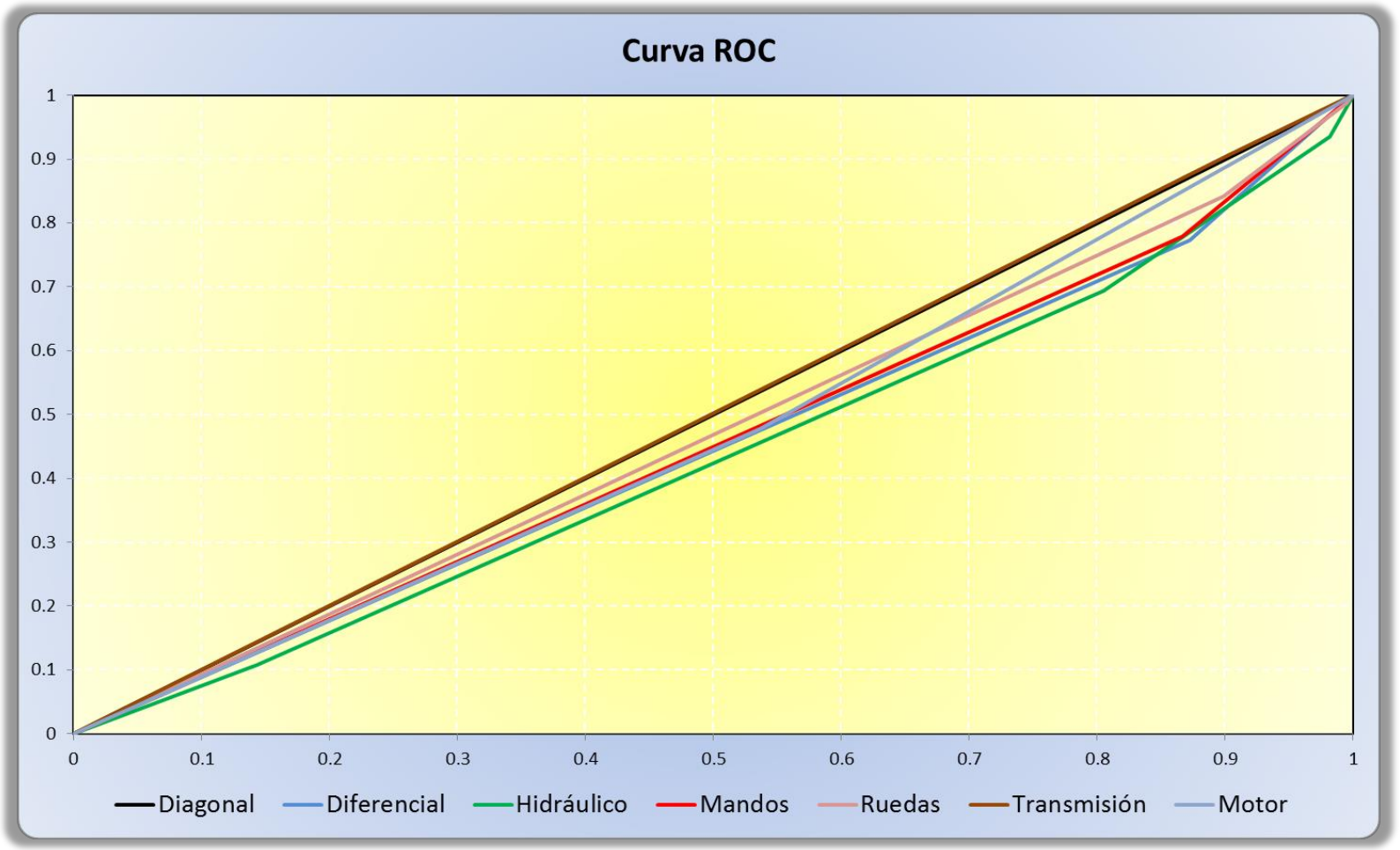


Figura 16. Curva ROC del contenido de cromo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

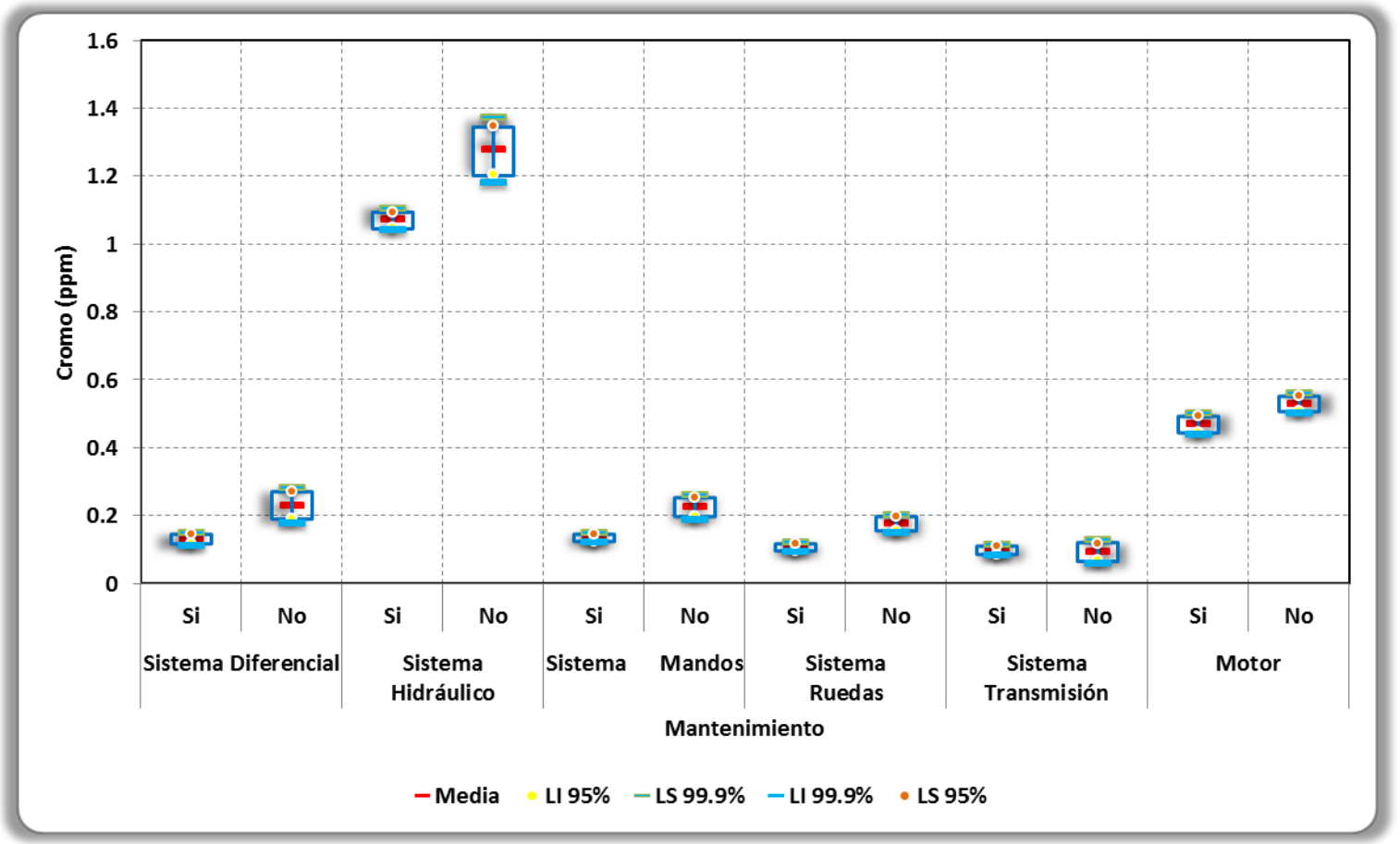


Figura 17. Diagrama de Cajas del contenido de cromo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

vi. Contenido de Plomo (ppm).

De la tabla 17, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.45 ppm en condición de mantenimiento y de 2.38 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.28 ppm en condición de mantenimiento y de 1.56 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.46 ppm en condición de mantenimiento y de 2.31 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.44 ppm en condición de mantenimiento y de 0.46 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.93 ppm en condición de mantenimiento y de 1.29 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 17. ***Estadísticos descriptivos del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Plomo (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	1.45	1.68	2366	1	0	14
	No	2.38	3.01	436	2	0	22
Hidráulico	**Si**	1.28	1.43	2690	1	0	13
	No	1.56	1.93	452	1	0	11
Mandos	**Si**	1.46	1.72	4778	1	0	28
	No	2.31	2.92	919	2	0	23
Ruedas	**Si**	0.44	0.62	3569	0	0	11
	No	0.46	0.59	1868	0	0	7
Transmisión	**Si**	0.93	0.95	2602	1	0	16
	No	1.29	1.48	485	1	0	16
Motor	**Si**	1.77	1.31	1687	2	0	25
	No	2.47	2.15	2116	2	0	41

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.77 ppm en condición de mantenimiento y de 2.47 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 18. ***Área bajo la curva ROC del contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.388	.015	.000	.359	.417
Hidráulico	.470	.015	.038	.440	.499
Mandos	.397	.010	.000	.376	.417
Ruedas	.489	.008	.172	.473	.505
Transmisión	.427	.015	.000	.398	.457
Motor	.366	.009	.000	.349	.384

Fuente: Historial de registro

De la tabla 18 y figura 18, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 38.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 38.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 47.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.038 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.0%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 39.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 39.7%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 48.9%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.172 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.9%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 42.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 36.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 36.6%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 19:

- En el sistema diferencial, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos que los

camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de plomo en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

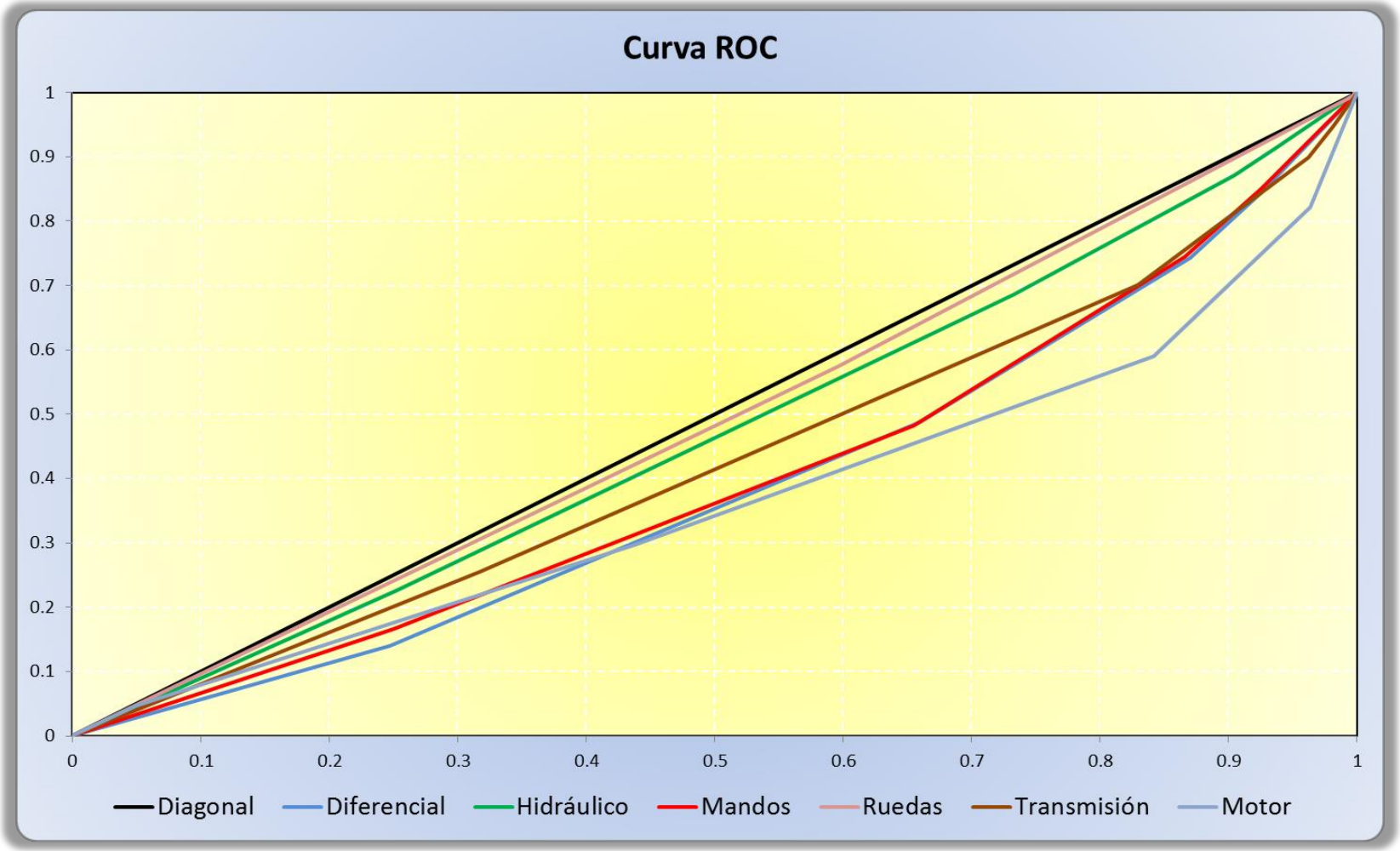


Figura 18. Curva ROC del contenido de plomo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

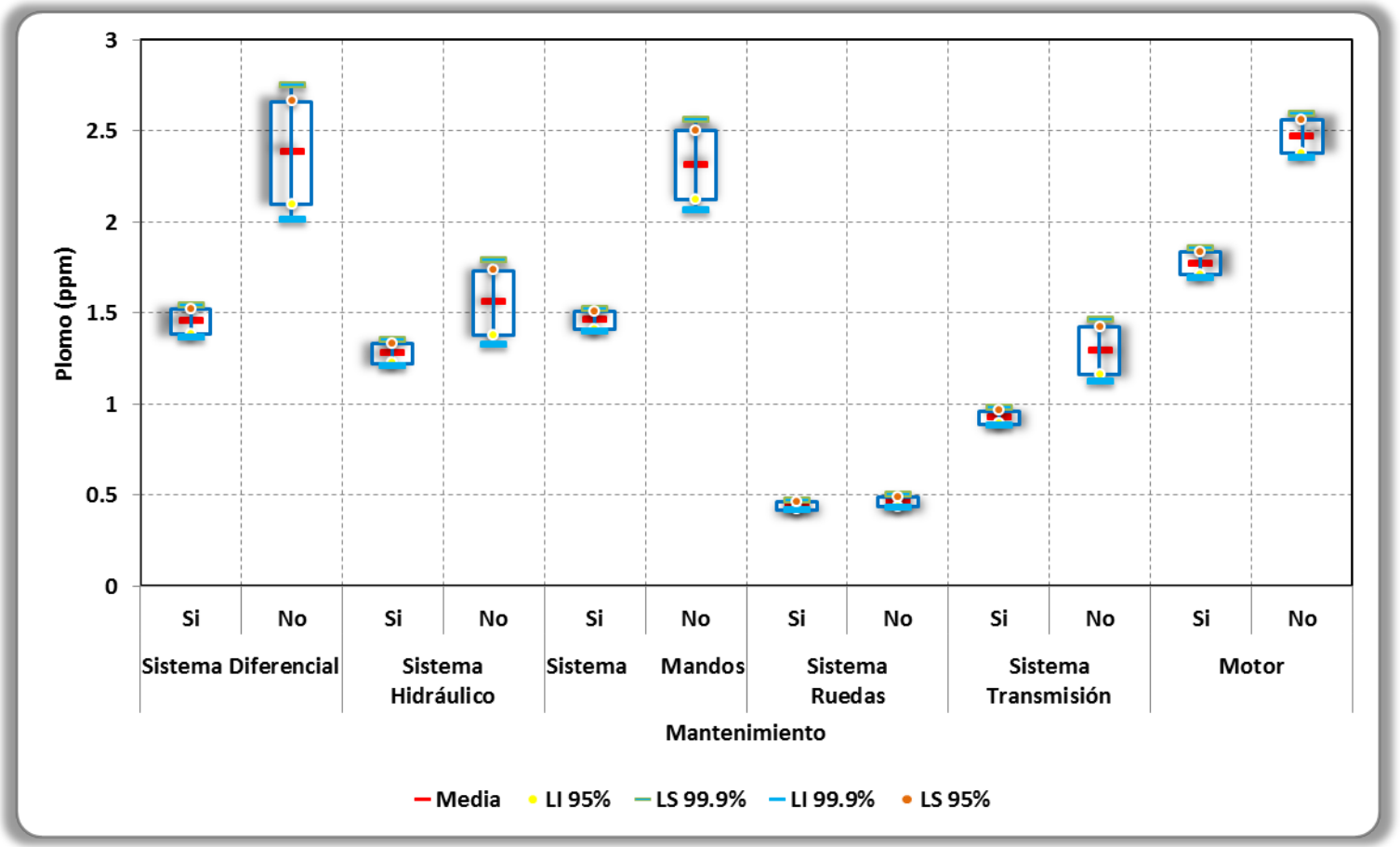


Figura 19. Diagrama de Cajas del contenido de plomo en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

vii. Contenido de Cobre (ppm).

De la tabla 19, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 7.05 ppm en condición de mantenimiento y de 14.44 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 30.11 ppm en condición de mantenimiento y de 51.42 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 7.13 ppm en condición de mantenimiento y de 14.17 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.47 ppm en condición de mantenimiento y de 1.51 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 5.93 ppm en condición de mantenimiento y de 11.79 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 19. ***Estadísticos descriptivos del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Cobre (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	7.05	10.05	2366	4	0	135
	No	14.44	29.89	436	6	0	327
Hidráulico	**Si**	30.11	81.62	2690	3	0	766
	No	51.42	121.13	452	4	0	864
Mandos	**Si**	7.13	10.12	4778	4	0	177
	No	14.17	29.79	919	6	0	384
Ruedas	**Si**	0.47	1.80	3569	0	0	43
	No	1.51	4.68	1868	0	0	119
Transmisión	**Si**	5.93	9.99	2602	4	0	336
	No	11.79	31.58	485	6	0	430
Motor	**Si**	7.19	18.46	1687	2	0	285
	No	11.70	32.23	2116	4	0	391

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C es de 7.19 ppm en condición de mantenimiento y de 11.70 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 20. ***Área bajo la curva ROC del contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.389	.015	.000	.359	.418
Hidráulico	.415	.014	.000	.386	.443
Mandos	.391	.011	.000	.370	.412
Ruedas	.393	.008	.000	.377	.409
Transmisión	.361	.013	.000	.335	.388
Motor	.364	.009	.000	.346	.382

Fuente: Historial de registro

De la tabla 20 y figura 20, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 38.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 38.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 41.5%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 41.5%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 39.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 39.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 39.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 39.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 36.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 36.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 36.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 36.4%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 21:

- En el sistema diferencial, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos que los

camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de cobre en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

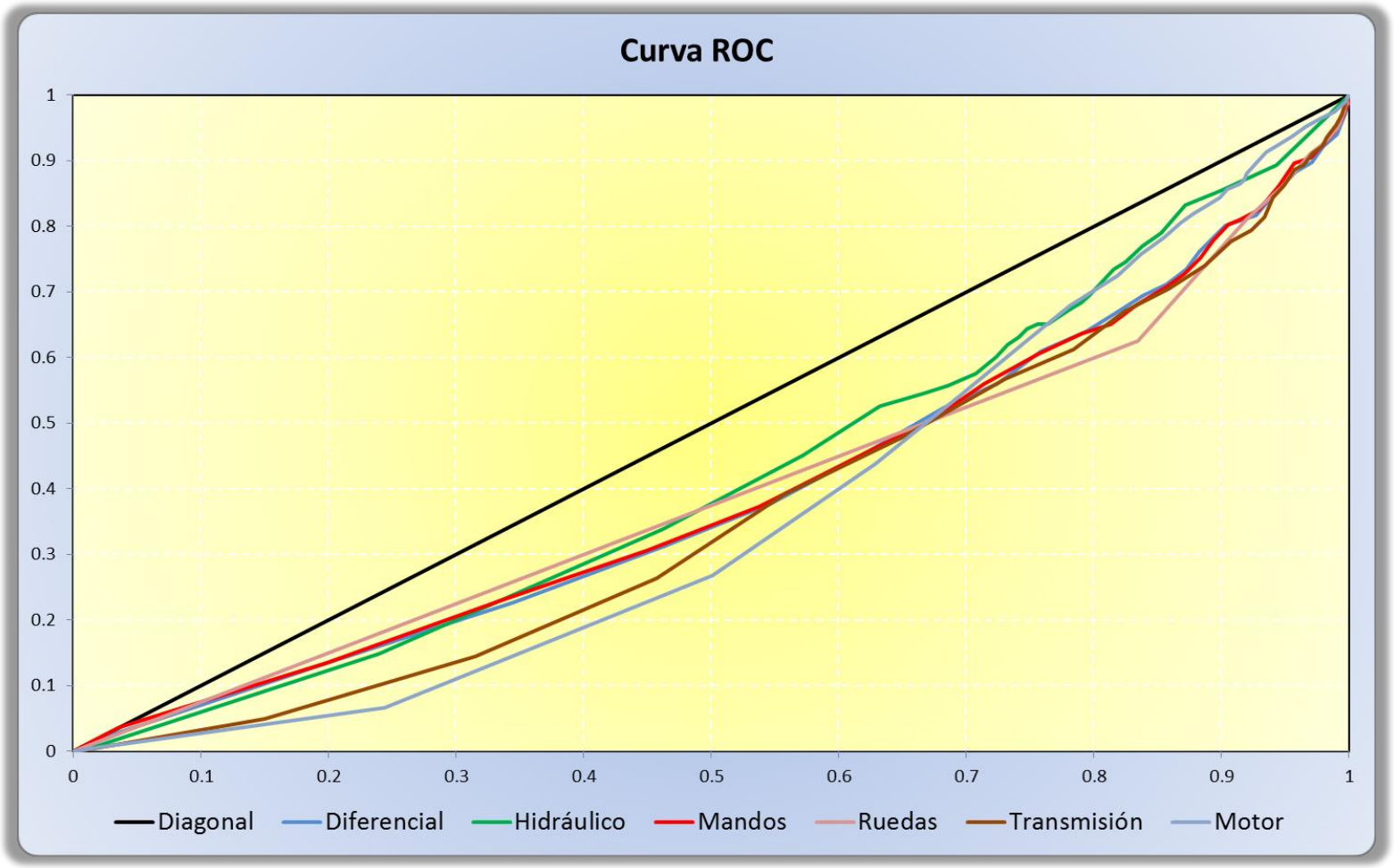


Figura 20. Curva ROC del contenido de cobre en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

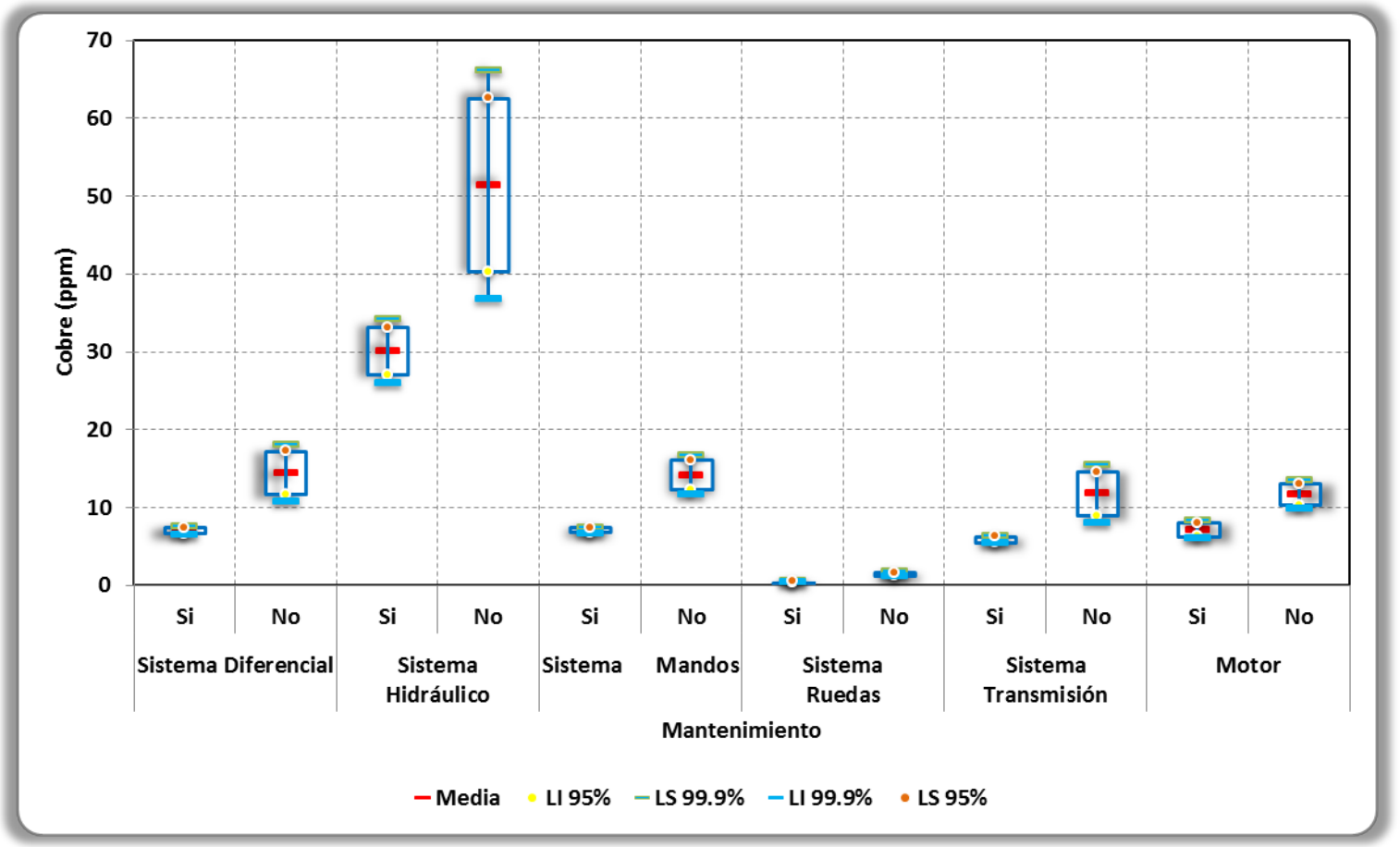


Figura 21. Diagrama de Cajas del contenido de cobre en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

viii. Contenido de Estaño (ppm).

De la tabla 21, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.06 ppm en condición de mantenimiento y de 0.25 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.001 ppm en condición de mantenimiento y de 0 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.06 ppm en condición de mantenimiento y de 0.22 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.001 ppm en condición de mantenimiento y de 0.01 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.001 ppm en condición de mantenimiento y de 0.004 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 21. ***Estadísticos descriptivos del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Estaño (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	0.06	0.40	2366	0	0	8
	No	0.25	1.05	436	0	0	10
Hidráulico	**Si**	0.00	0.23	2690	0	0	12
	No	0.00	0.00	452	0	0	0
Mandos	**Si**	0.06	0.39	4778	0	0	8
	No	0.22	1.04	919	0	0	11
Ruedas	**Si**	0.00	0.07	3569	0	0	2
	No	0.01	0.11	1868	0	0	2
Transmisión	**Si**	0.00	0.03	2602	0	0	1
	No	0.00	0.06	485	0	0	1
Motor	**Si**	0.02	0.48	1687	0	0	15
	No	0.02	0.24	2116	0	0	8

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.02 ppm en condición de mantenimiento y de 0.02 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 22. ***Área bajo la curva ROC del contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.471	.016	.058	.441	.502
Hidráulico	.500	.015	.990	.471	.529
Mandos	.481	.011	.063	.460	.502
Ruedas	.498	.008	.816	.482	.514
Transmisión	.499	.014	.917	.470	.527
Motor	.497	.009	.718	.478	.515

Fuente: Historial de registro

De la tabla 22 y figura 22, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 47.1%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.058 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.1%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 50.0%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.990 > \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 50.0%, se debe a la clasificación de otras variables.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 48.1%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.063 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.1%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 49.8%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.816 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.8%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 49.9%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.917 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.9%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 49.7%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.718 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.7%, se debe a la clasificación de otras variables.

Como se observa de la figura 23:

- En el sistema diferencial, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor dispersión en los datos (heterogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más concentrados (homogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos que los

camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de estaño en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor dispersos en los datos (heterogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más concentrados (homogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

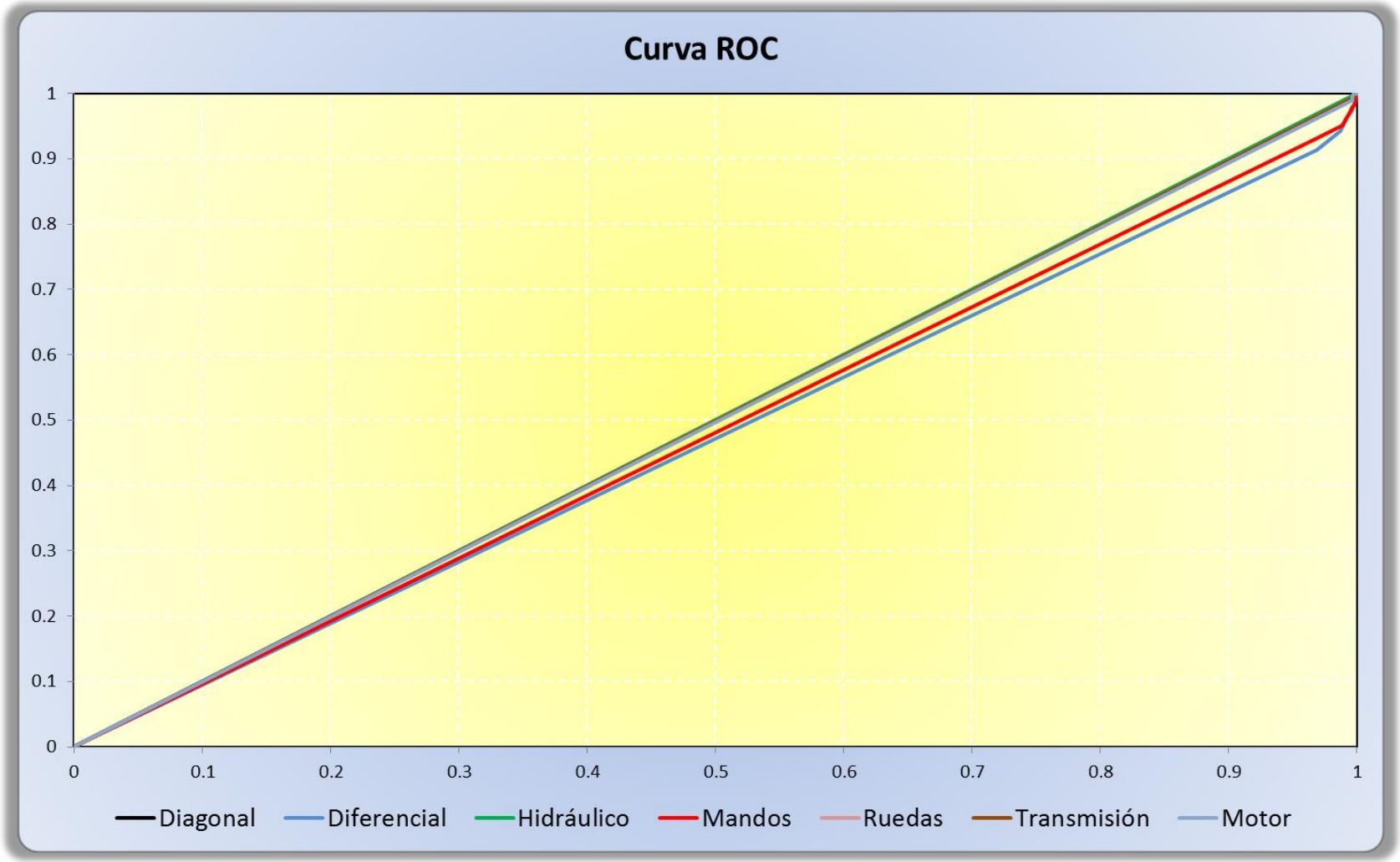


Figura 22. Curva ROC del contenido de estaño en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

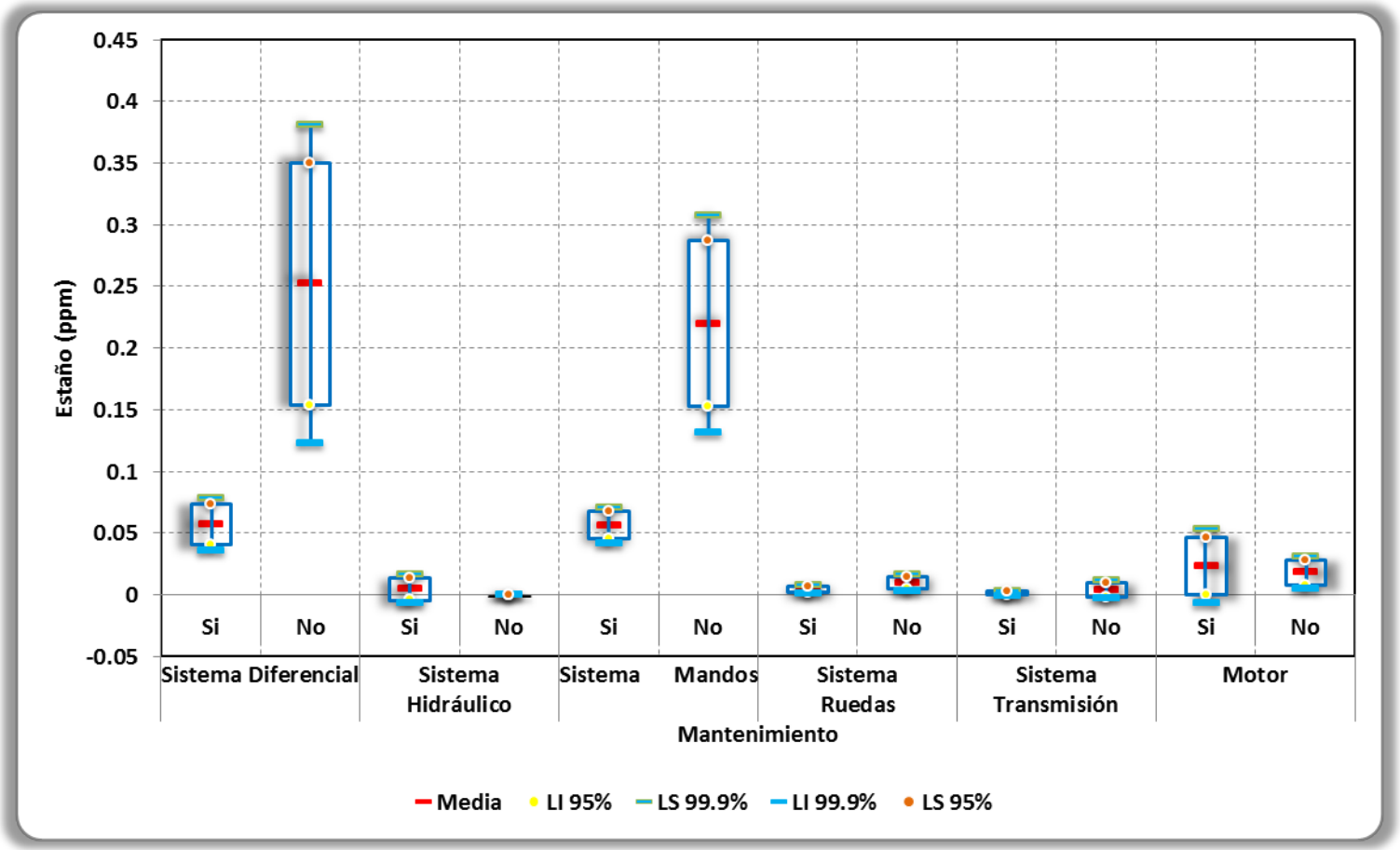


Figura 23. Diagrama de Cajas del contenido de estaño en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

ix. Contenido de Aluminio (ppm).

De la tabla 23, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.12 ppm en condición de mantenimiento y de 1.16 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 2.77 ppm en condición de mantenimiento y de 3.17 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.10 ppm en condición de mantenimiento y de 1.15 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.27 ppm en condición de mantenimiento y de 1.55 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.23 ppm en condición de mantenimiento y de 1.26 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 23. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Aluminio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Aluminio(ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	1.12	1.10	2366	1	0	31
	No	1.16	1.23	436	1	0	16
Hidráulico	**Si**	2.77	1.06	2690	3	0	12
	No	3.17	1.26	452	3	0	9
Mandos	**Si**	1.10	0.71	4778	1	0	11
	No	1.15	0.64	919	1	0	7
Ruedas	**Si**	1.27	0.99	3569	1	0	22
	No	1.55	1.29	1868	1	0	24
Transmisión	**Si**	1.23	0.78	2602	1	0	10
	No	1.26	0.82	485	1	0	7
Motor	**Si**	1.05	0.96	1687	1	0	26
	No	1.61	1.24	2116	1	0	26

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.05 ppm en condición de mantenimiento y de 1.61 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 24. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Aluminio en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.497	.015	.863	.468	.527
Hidráulico	.401	.015	.000	.372	.431
Mandos	.473	.010	.008	.452	.493
Ruedas	.431	.008	.000	.415	.448
Transmisión	.493	.014	.641	.466	.521
Motor	.341	.009	.000	.324	.358

Fuente: Historial de registro

De la tabla 24 y figura 24, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 49.7%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.863 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.7%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 40.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 > \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 40.1%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 47.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.008 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 43.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 43.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 49.3%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.641 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.3%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 34.1%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 34.1%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 25:

- En el sistema diferencial, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor dispersión en los datos (heterogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más concentrados (homogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar concentración en los datos

que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de aluminio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersos en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

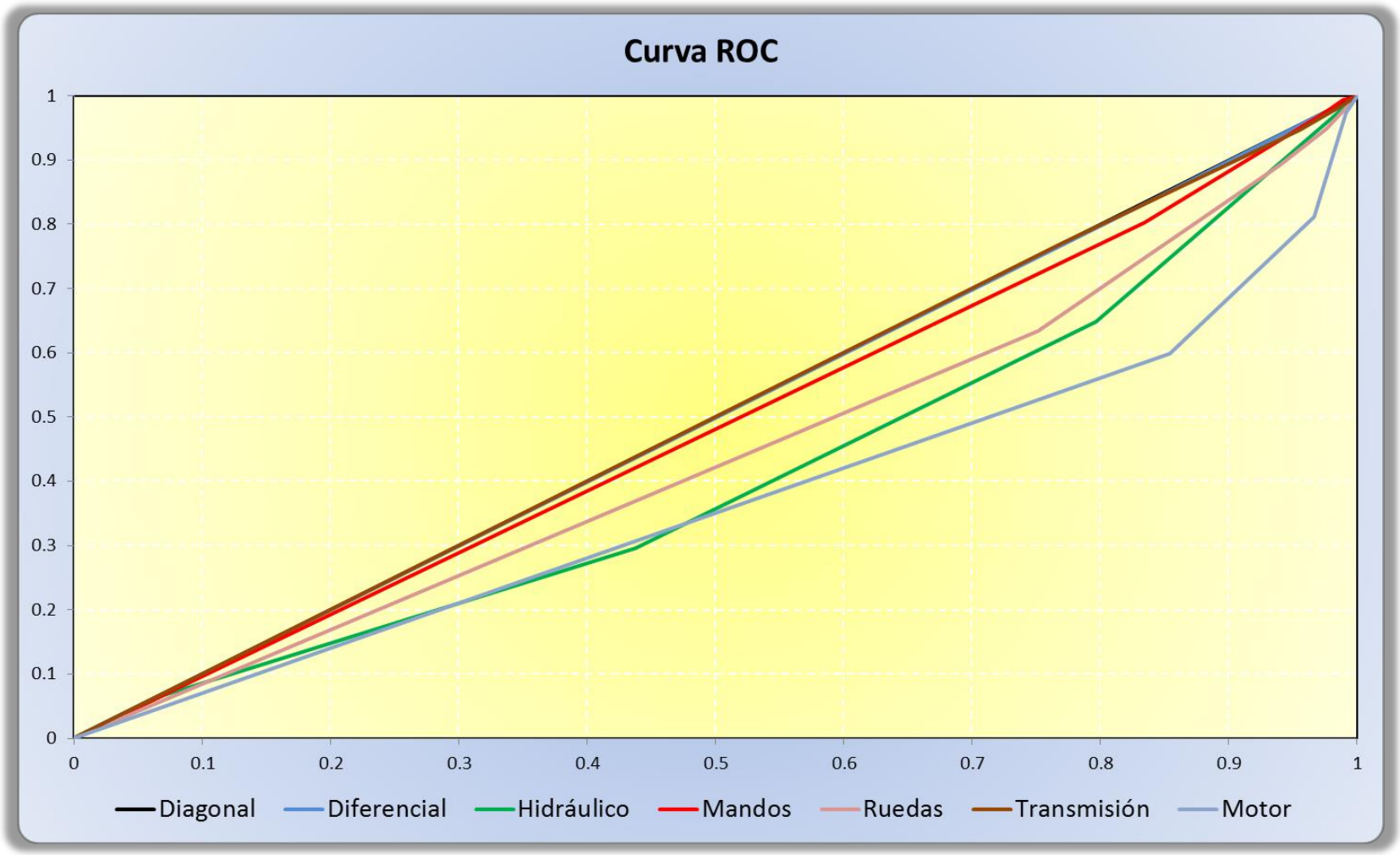


Figura 24. Curva ROC del contenido de Aluminio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

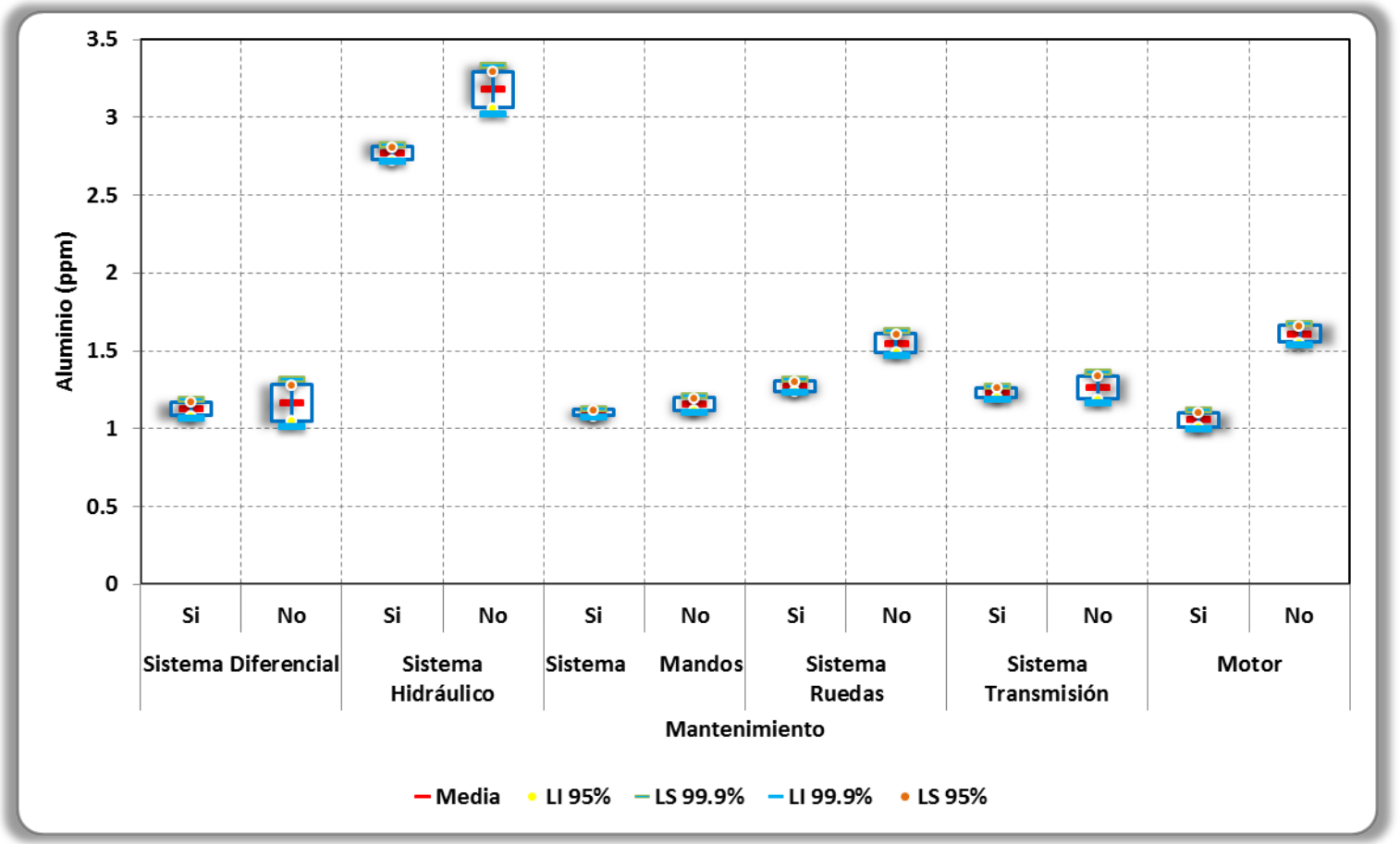


Figura 25. Diagrama de Cajas del contenido de Aluminio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

x. Contenido de Níquel (ppm).

De la tabla 25, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.35 ppm en condición de mantenimiento y de 1.74 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 5.10 ppm en condición de mantenimiento y de 6.38 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.25 ppm en condición de mantenimiento y de 1.52 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.23 ppm en condición de mantenimiento y de 1.38 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.71 ppm en condición de mantenimiento y de 0.64 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 25. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Níquel en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Níquel(ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	1.35	2.18	2366	1	0	42
	No	1.74	2.58	436	1	0	20
Hidráulico	**Si**	5.10	3.91	2690	4	0	75
	No	6.38	5.54	452	5	0	83
Mandos	**Si**	1.25	1.83	4778	1	0	21
	No	1.52	2.38	919	1	0	22
Ruedas	**Si**	1.23	1.20	3569	1	0	12
	No	1.38	2.09	1868	1	0	34
Transmisión	**Si**	0.71	0.86	2602	1	0	12
	No	0.64	0.87	485	0	0	5
Motor	**Si**	0.43	0.58	1687	0	0	6
	No	0.41	0.64	2116	0	0	8

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.43 ppm en condición de mantenimiento y de 0.41 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 26. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Níquel en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.449	.015	.001	.419	.479
Hidráulico	.411	.015	.000	.382	.440
Mandos	.468	.010	.002	.448	.488
Ruedas	.507	.008	.365	.491	.524
Transmisión	.536	.015	.012	.507	.564
Motor	.516	.009	.093	.497	.534

Fuente: Historial de registro

De la tabla 26 y figura 26, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 44.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.001 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 44.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 41.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 41.1%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 46.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.002 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 46.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 50.7%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.365 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 50.7%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 53.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.012 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 53.6%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 51.6%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.093 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 51.6%, se debe a la clasificación de otras variables.

Como se observa de la figura 27:

- En el sistema diferencial, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de níquel en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

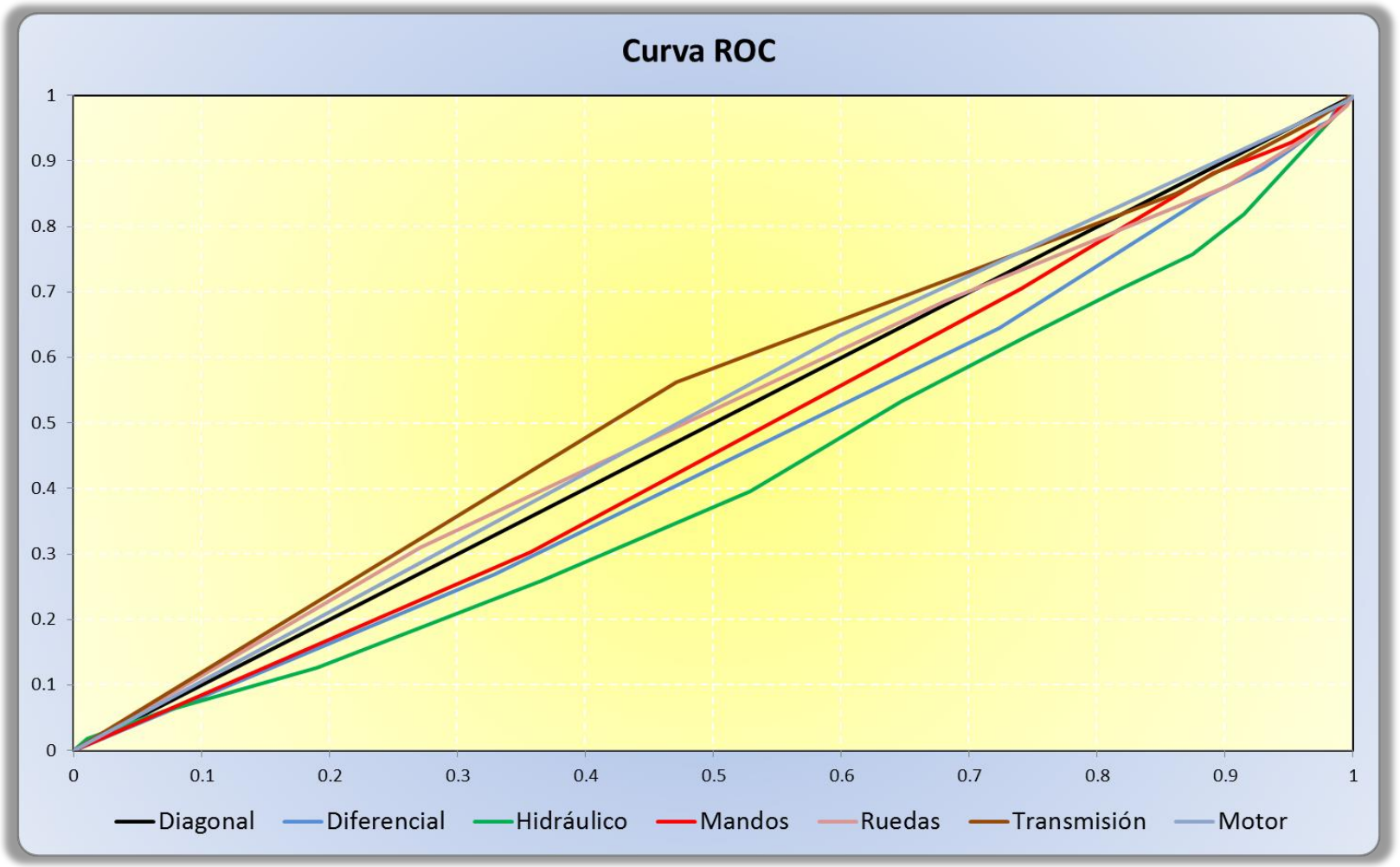


Figura 26. Curva ROC del contenido de Níquel en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

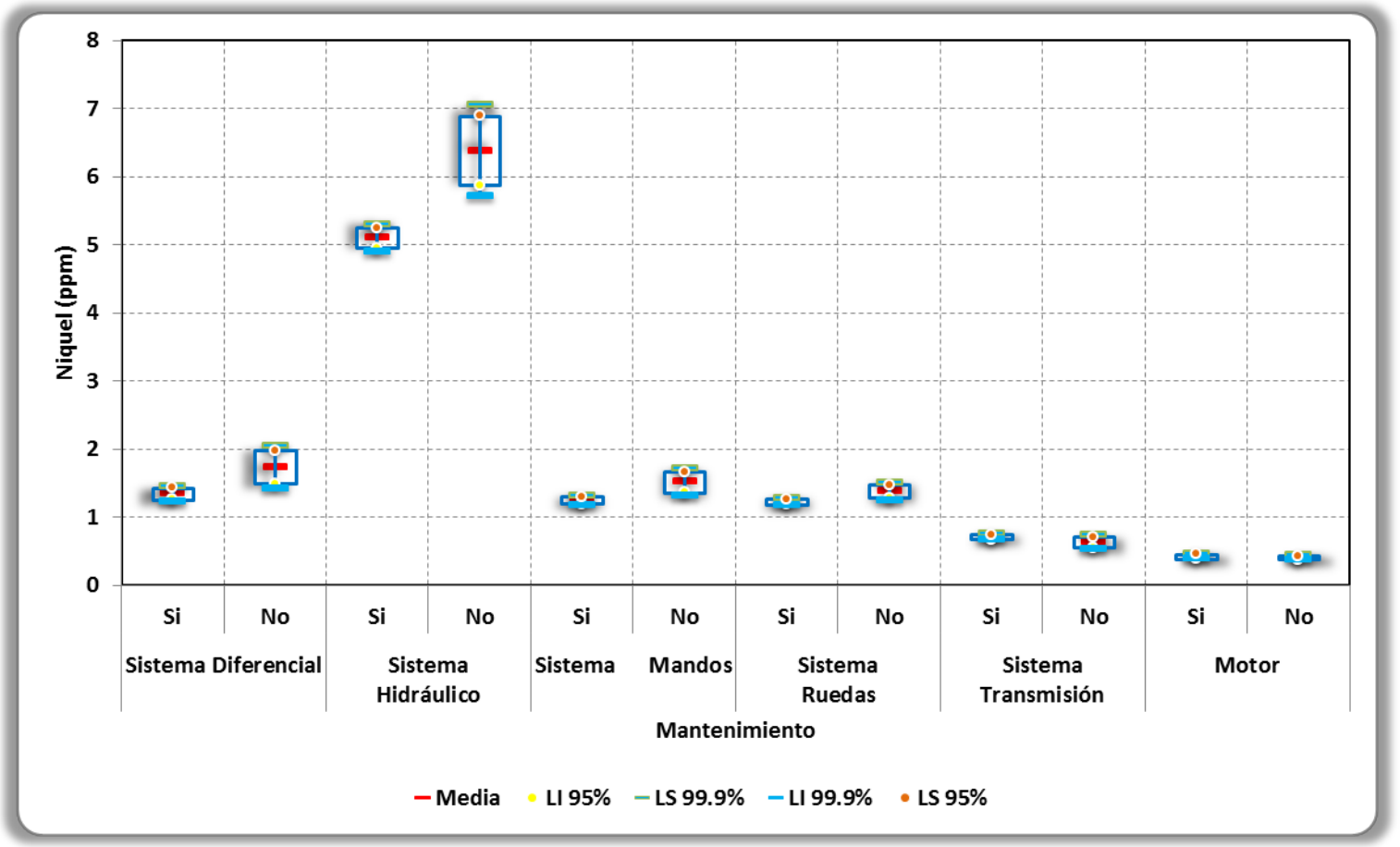


Figura 27. Diagrama de Cajas del contenido de Níquel en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xi. Contenido de Silicio (ppm).

De la tabla 27, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 9.20 ppm en condición de mantenimiento y de 10.14 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 16.15 ppm en condición de mantenimiento y de 19.73 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 9.09 ppm en condición de mantenimiento y de 10.33 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 17.37 ppm en condición de mantenimiento y de 23.03 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 5.62 ppm en condición de mantenimiento y de 5.77 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 27. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Silicio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Silicio(ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	9.20	5.44	2366	8	1	136
	No	10.14	5.18	436	9.5	2	46
Hidráulico	**Si**	16.15	6.20	2690	15	3	77
	No	19.73	7.56	452	19	5	64
Mandos	**Si**	9.09	4.79	4778	8	1	98
	No	10.33	6.00	919	9	2	82
Ruedas	**Si**	17.37	10.68	3569	16	1	160
	No	23.03	19.46	1868	18	1	170
Transmisión	**Si**	5.62	2.64	2602	6	0	30
	No	5.77	3.24	485	6	1	25
Motor	**Si**	4.71	2.08	1687	4	0	17
	No	4.20	2.25	2116	4	0	35

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C es de 4.71 ppm en condición de mantenimiento y de 4.20 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 28. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Silicio en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.446	.016	.000	.415	.477
Hidráulico	.344	.014	.000	.317	.372
Mandos	.440	.011	.000	.419	.462
Ruedas	.404	.009	.000	.387	.421
Transmisión	.490	.016	.469	.458	.521
Motor	.599	.009	.000	.581	.617

Fuente: Historial de registro

De la tabla 28 y figura 28, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 44.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 44.6%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 34.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 34.4%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 44.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 44.0%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 40.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 40.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 49.0%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.469 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.0%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 59.9%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 59.9%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 29:

- En el sistema diferencial, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de silicio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

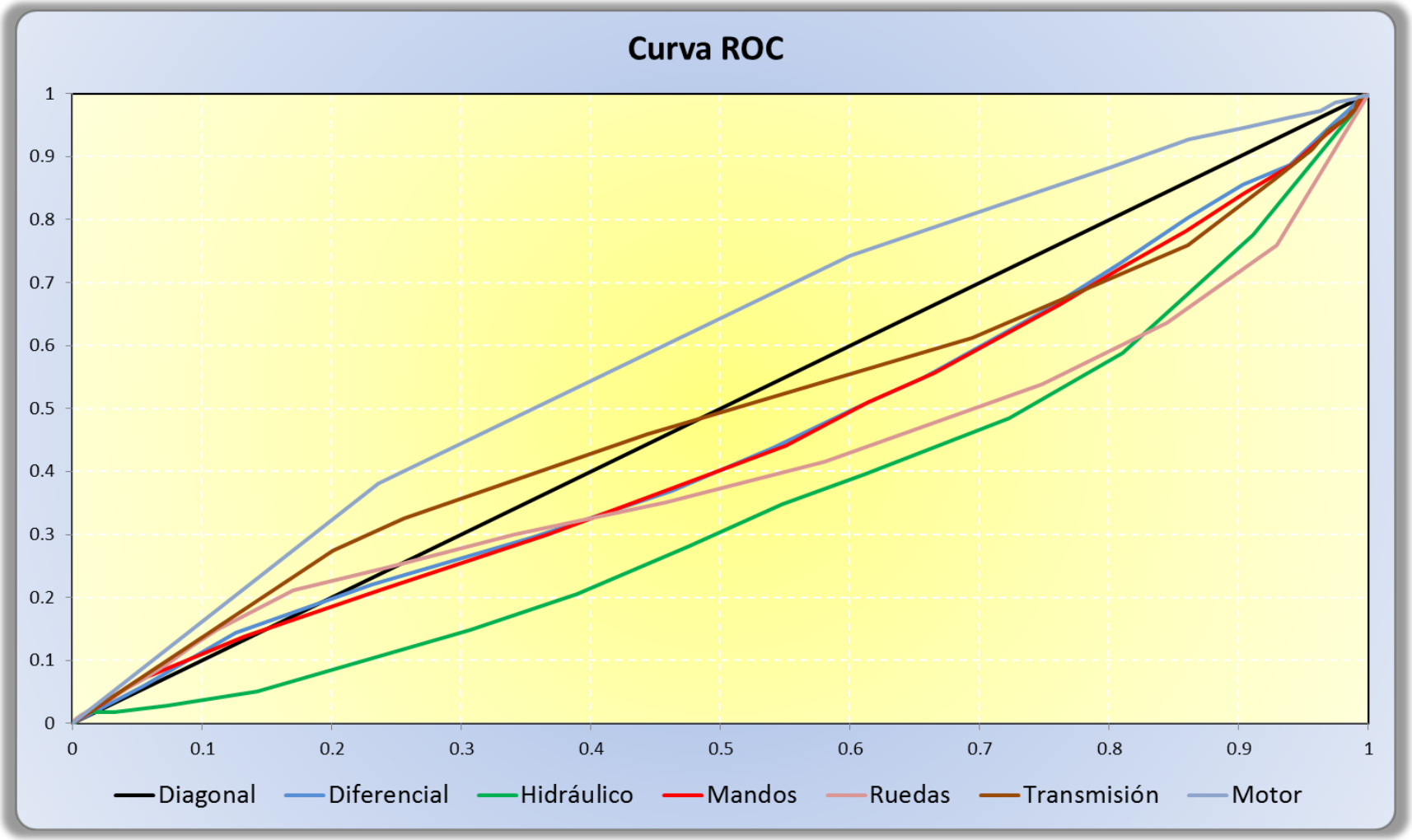


Figura 28. Curva ROC del contenido de Silicio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

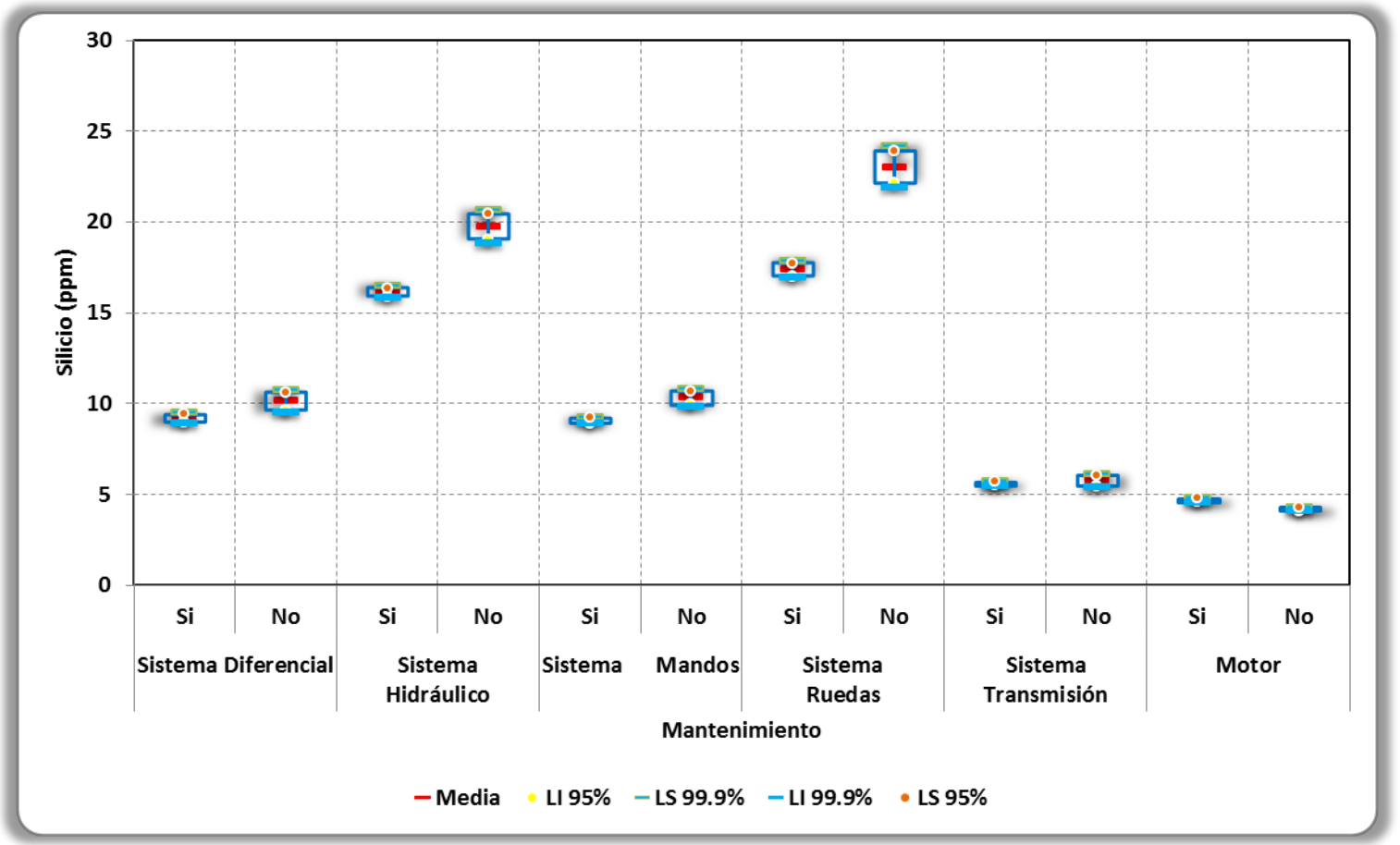


Figura 29. Diagrama de Cajas del contenido de Silicio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xii. Contenido de Boro (ppm).

De la tabla 29, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.08 ppm en condición de mantenimiento y de 0.95 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.29 ppm en condición de mantenimiento y de 2.08 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.11 ppm en condición de mantenimiento y de 0.99 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.10 ppm en condición de mantenimiento y de 1.25 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.15 ppm en condición de mantenimiento y de 1.15 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 29. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Boro en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Boro (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	1.08	1.32	2366	1	0	29
	No	0.95	0.94	436	1	0	12
Hidráulico	**Si**	1.29	0.82	2690	1	0	8
	No	2.08	16.28	452	1	0	347
Mandos	**Si**	1.11	3.79	4778	1	0	250
	No	0.99	1.27	919	1	0	22
Ruedas	**Si**	1.10	5.92	3569	1	0	347
	No	1.25	5.85	1868	1	0	246
Transmisión	**Si**	1.15	2.05	2602	1	0	86
	No	1.15	1.34	485	1	0	21
Motor	**Si**	122.05	167.13	1687	1	0	510
	No	38.48	102.17	2116	1	0	517

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C es de 122.05 ppm en condición de mantenimiento y de 38.48 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 30. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Boro en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.526	.015	.085	.497	.555
Hidráulico	.485	.015	.314	.456	.515
Mandos	.531	.010	.003	.511	.552
Ruedas	.471	.008	.000	.455	.487
Transmisión	.504	.015	.759	.476	.533
Motor	.548	.010	.000	.529	.567

Fuente: Historial de registro

De la tabla 30 y figura 30, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 52.6%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.085 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 52.6%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 48.5%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.314 > \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.5%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 53.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.003 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 53.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 47.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 50.4%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.759 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 50.4%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 54.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 54.8%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 31:

- En el sistema diferencial, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de boro en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor dispersión en los datos (heterogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más concentrados (homogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

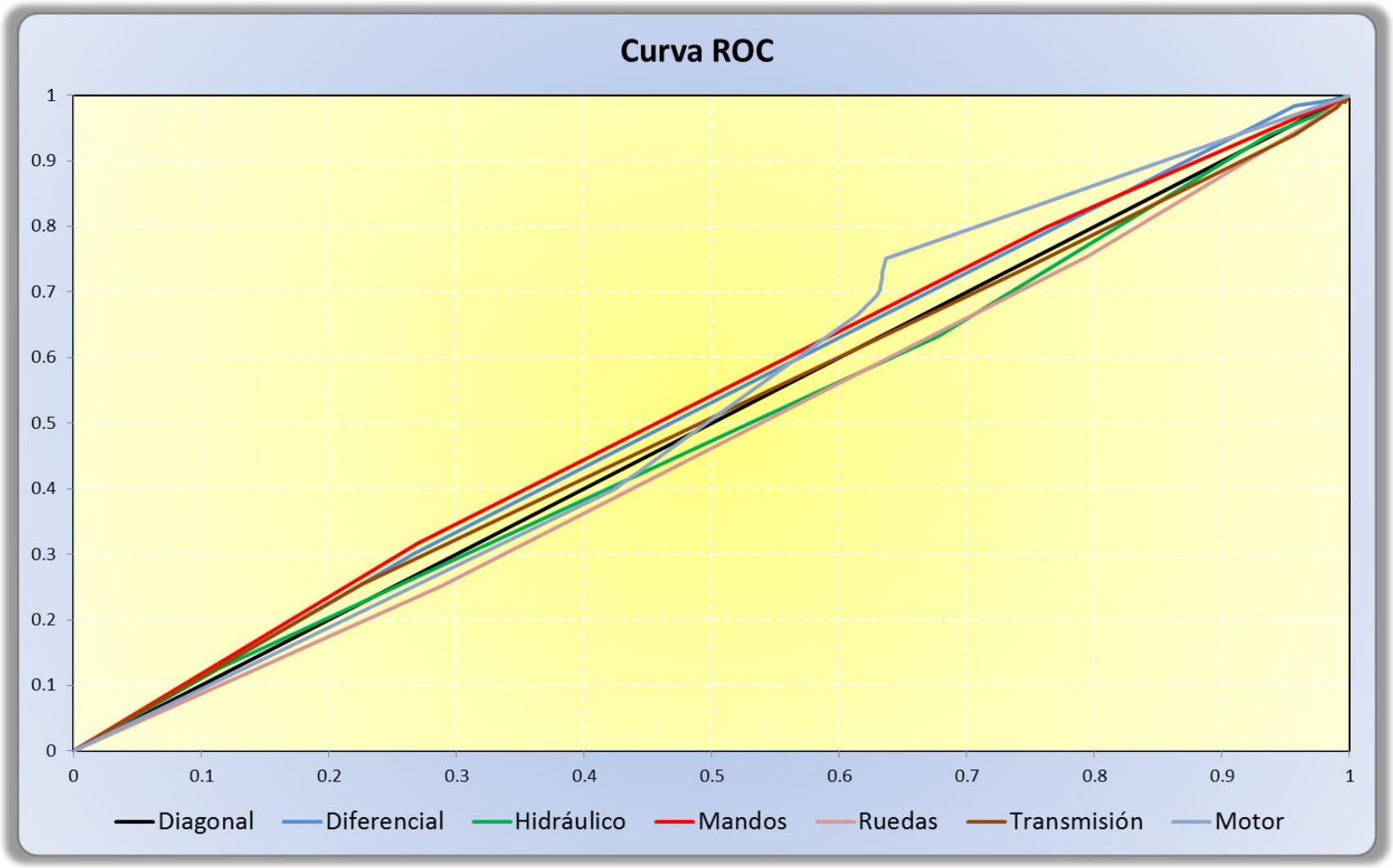


Figura 30. Curva ROC del contenido de Boro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

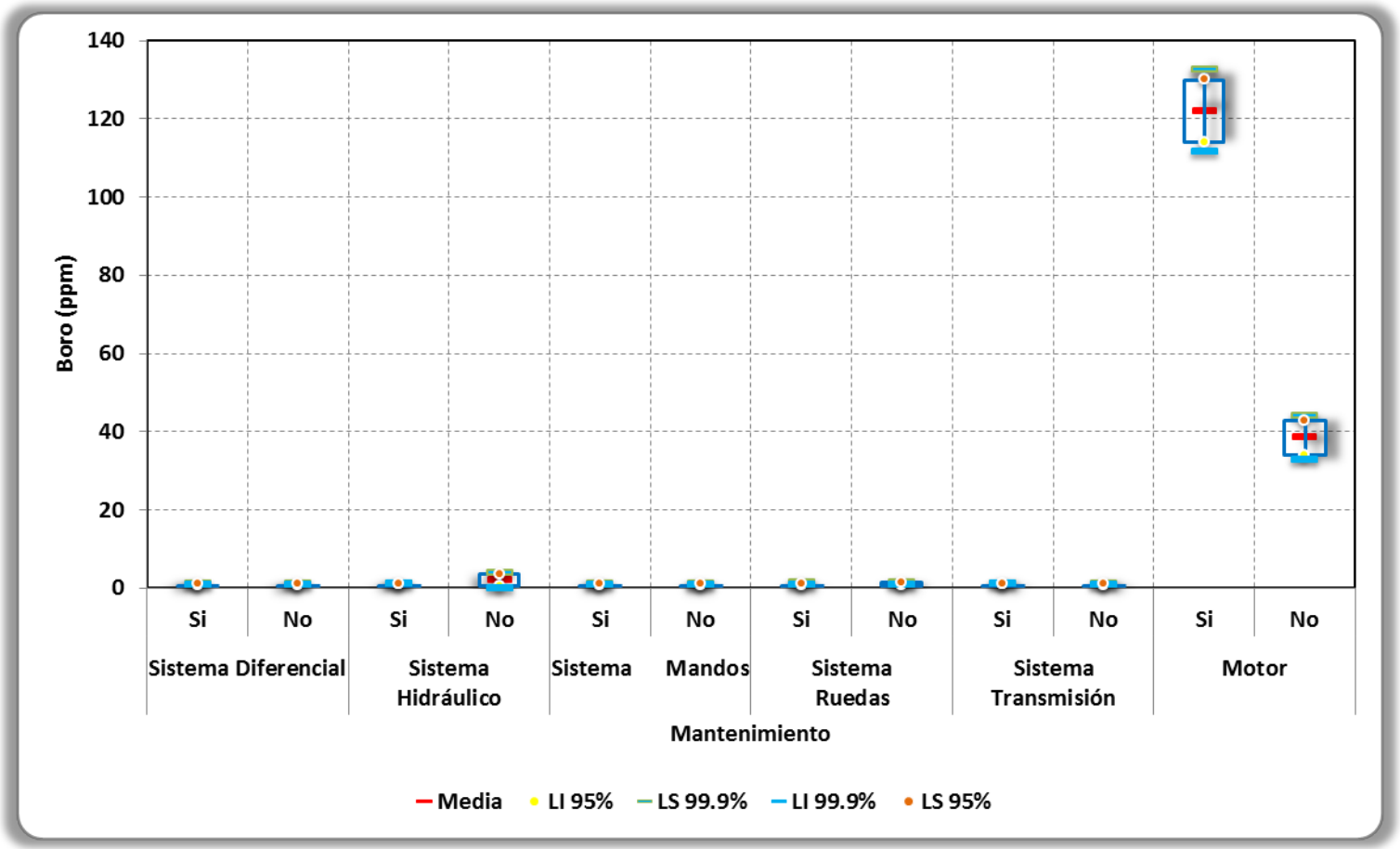


Figura 31. Diagrama de Cajas del contenido de Boro en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xiii. Contenido de Sodio (ppm).

De la tabla 31, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 3.88 ppm en condición de mantenimiento y de 4.18 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 5.45 ppm en condición de mantenimiento y de 9.84 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 4.17 ppm en condición de mantenimiento y de 4.73 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 3.28 ppm en condición de mantenimiento y de 5.25 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 4.79 ppm en condición de mantenimiento y de 6.61 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 31. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Sodio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Sodio (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	3.88	4.42	2366	2	0	21
	No	4.18	4.63	436	2	0	25
Hidráulico	**Si**	5.45	9.47	2690	3	0	236
	No	9.84	31.58	452	3	1	455
Mandos	**Si**	4.17	6.40	4778	2	0	163
	No	4.73	6.43	919	2	0	115
Ruedas	**Si**	3.28	4.03	3569	2	0	25
	No	5.25	5.95	1868	2	0	121
Transmisión	**Si**	4.79	5.63	2602	3	0	136
	No	6.61	8.18	485	3	0	136
Motor	**Si**	6.17	18.98	1687	3	0	402
	No	6.36	25.98	2116	4	0	656

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C es de 6.17 ppm en condición de mantenimiento y de 6.36 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 32. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Sodio en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.472	.015	.065	.443	.502
Hidráulico	.410	.014	.000	.382	.438
Mandos	.458	.010	.000	.438	.479
Ruedas	.371	.008	.000	.355	.387
Transmisión	.398	.014	.000	.370	.426
Motor	.450	.009	.000	.431	.468

Fuente: Historial de registro

De la tabla 32 y figura 32, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 47.2%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.065 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.2%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 41.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 41.1%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 45.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 45.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 37.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 37.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 39.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 39.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 45.0%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 45.0%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 33:

- En el sistema diferencial, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los

datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de sodio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

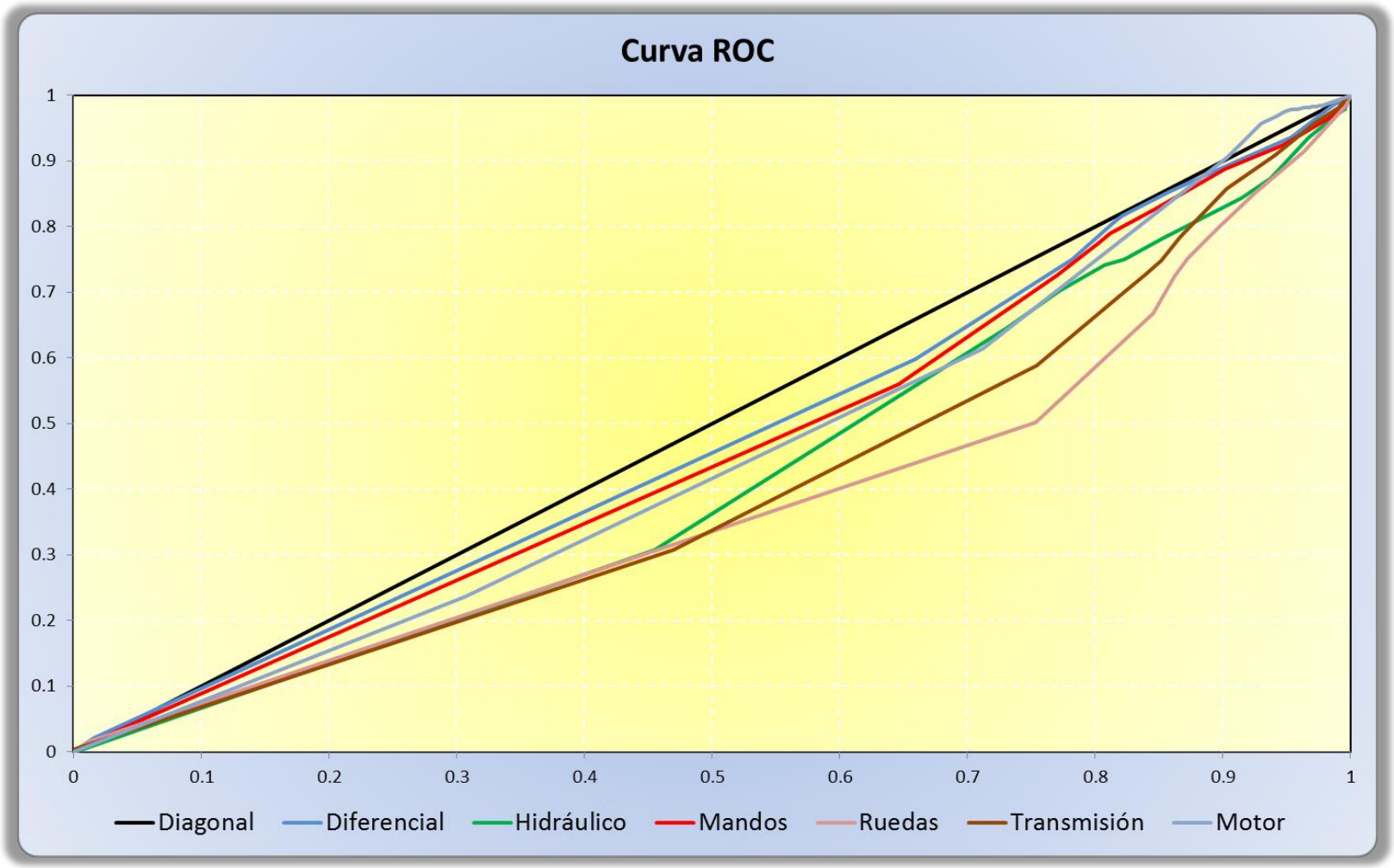


Figura 32. Curva ROC del contenido de Sodio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

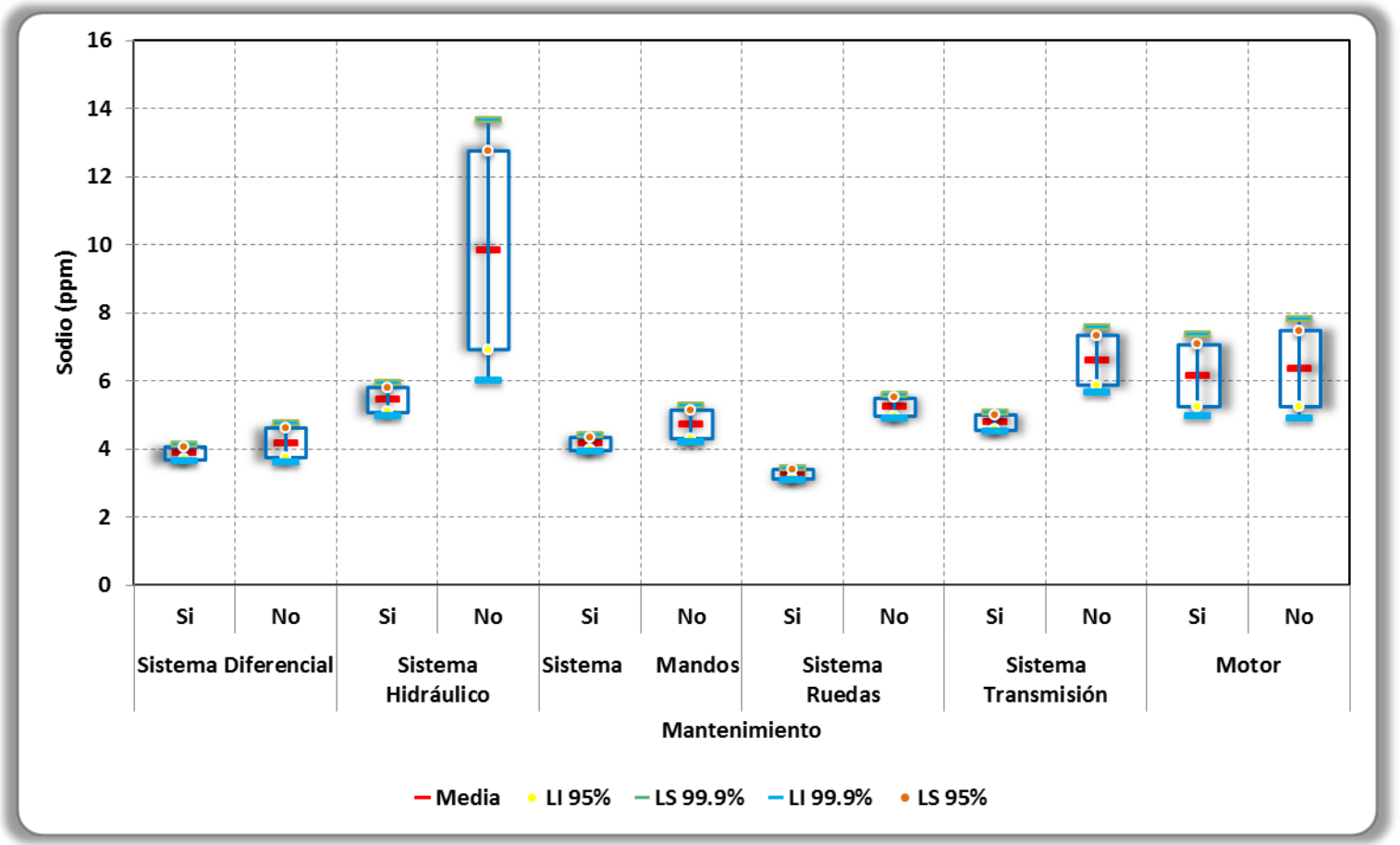


Figura 33. Diagrama de Cajas del contenido de Sodio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xiv. Contenido de Magnesio (ppm).

De la tabla 33, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 9.53 ppm en condición de mantenimiento y de 9.52 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 13.20 ppm en condición de mantenimiento y de 13.59 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 9.58 ppm en condición de mantenimiento y de 9.49 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 10.06 ppm en condición de mantenimiento y de 10.32 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 11.64 ppm en condición de mantenimiento y de 11.52 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 33. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Magnesio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Magnesio (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	9.53	6.08	2366	9	1	112
	No	9.52	4.77	436	9	4	74
Hidráulico	**Si**	13.20	7.97	2690	12	0	186
	No	13.59	6.74	452	13	6	75
Mandos	**Si**	9.58	5.80	4778	9	0	124
	No	9.49	4.83	919	9	4	94
Ruedas	**Si**	10.06	5.26	3569	10	0	103
	No	10.32	8.71	1868	9	3	103
Transmisión	**Si**	11.64	7.99	2602	11	4	133
	No	11.52	8.42	485	10	0	104
Motor	**Si**	16.15	30.18	1687	12	1	759
	No	18.14	48.24	2116	10	3	1005

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C es de 16.15 ppm en condición de mantenimiento y de 18.14 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 34. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Magnesio en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.478	.016	.151	.448	.509
Hidráulico	.484	.015	.269	.454	.514
Mandos	.494	.011	.552	.473	.515
Ruedas	.558	.008	.000	.541	.574
Transmisión	.536	.014	.012	.508	.564
Motor	.597	.009	.000	.579	.615

Fuente: Historial de registro

De la tabla 34 y figura 34, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 47.8%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.151 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 47.8%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 48.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.269 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.4%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 49.4%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.552 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 55.8%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 55.8%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 53.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.012 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 53.6%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 59.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 59.7%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 35:

- En el sistema diferencial, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así

mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de magnesio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

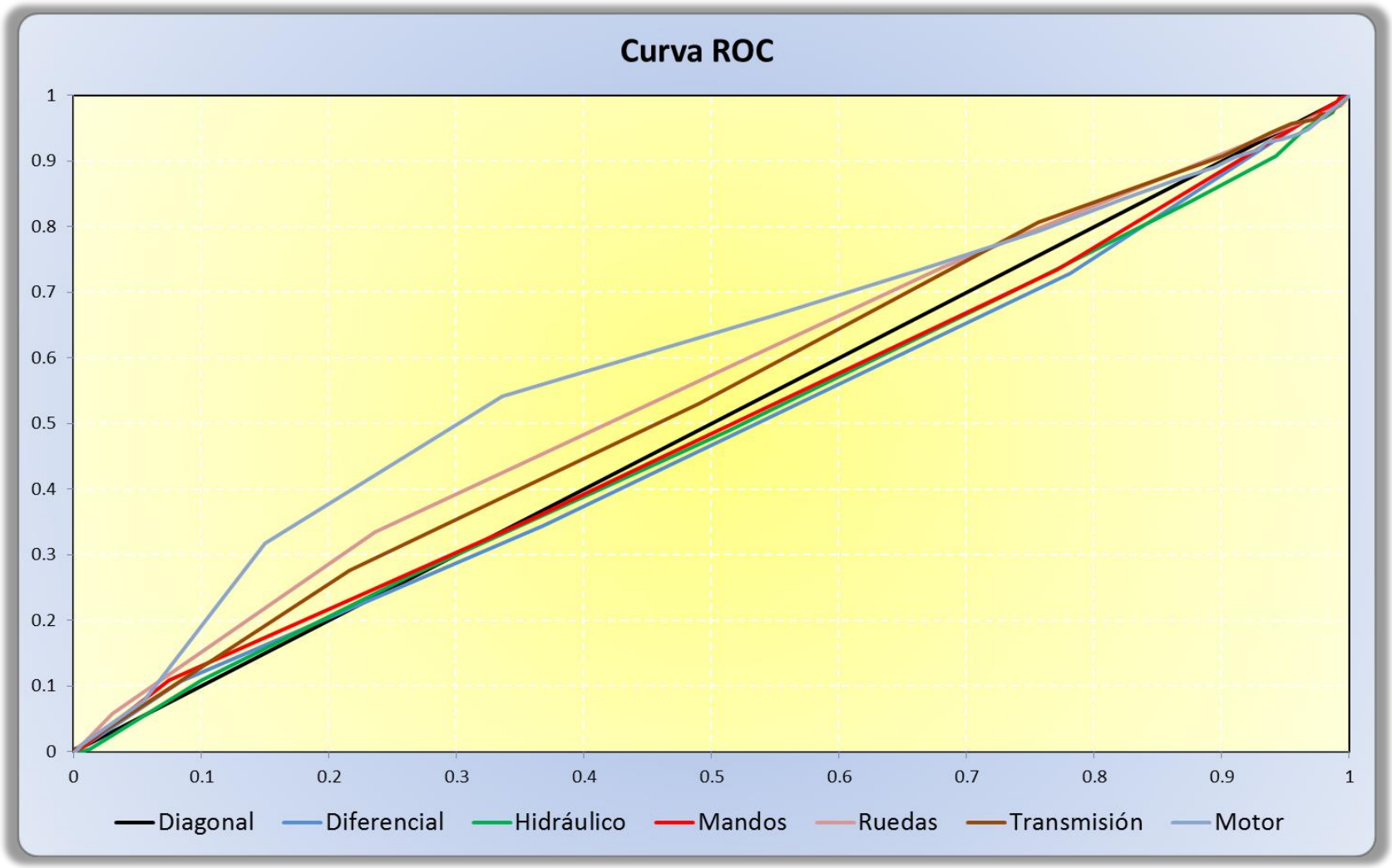


Figura 34. Curva ROC del contenido de Magnesio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

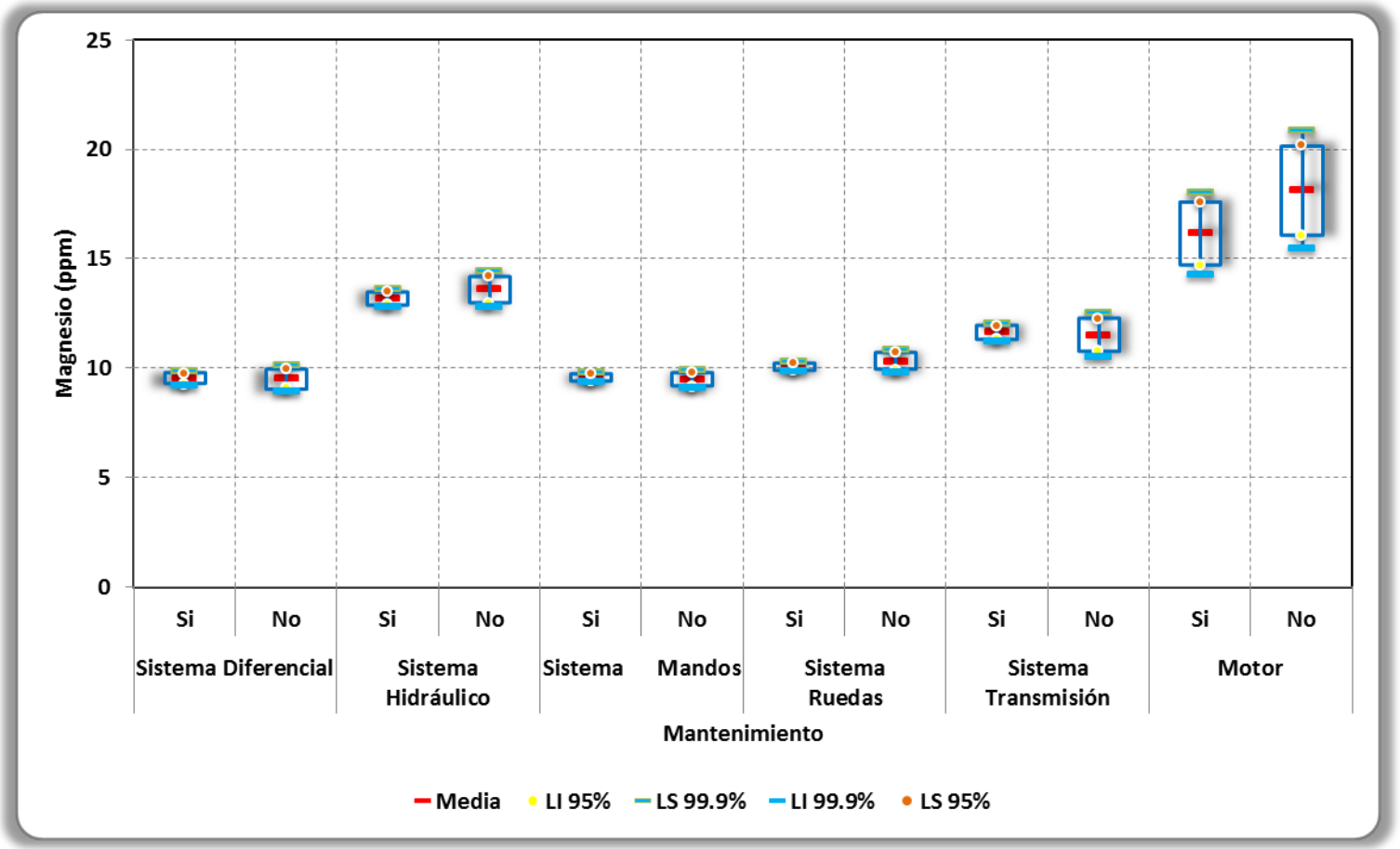


Figura 35. Diagrama de Cajas del contenido de Magnesio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xv. Contenido de Vanadio (ppm).

De la tabla 35, se observa que:

- En el sistema diferencial, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.60 ppm en condición de mantenimiento y de 0.64 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema hidráulico, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.11 ppm en condición de mantenimiento y de 1.01 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de mandos, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.69 ppm en condición de mantenimiento y de 0.74 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de ruedas, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.68 ppm en condición de mantenimiento y de 0.66 ppm en condición de no mantenimiento.

- En el sistema de transmisión, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.04 ppm en condición de mantenimiento y de 1.11 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 35. ***Estadísticos descriptivos del contenido de Vanadio en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Sistema	Mantenimiento	Vanadio (ppm)					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Diferencial	**Si**	0.60	0.70	2366	0	0	8
	No	0.64	0.71	436	1	0	3
Hidráulico	**Si**	1.11	0.98	2690	1	0	14
	No	1.01	0.81	452	1	0	6
Mandos	**Si**	0.69	0.90	4778	1	0	24
	No	0.74	1.00	919	1	0	14
Ruedas	**Si**	0.68	0.89	3569	1	0	13
	No	0.66	1.04	1868	0	0	16
Transmisión	**Si**	1.04	1.14	2602	1	0	18
	No	1.11	1.69	485	1	0	17
Motor	**Si**	1.16	0.94	1687	1	0	22
	No	1.21	1.27	2116	1	0	21

Fuente: Historial de registro

- En el sistema de motor, el promedio del contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.16 ppm en condición de mantenimiento y de 1.21 ppm en condición de no mantenimiento.

Tabla 36. ***Área bajo la curva ROC del contenido de Vanadio en los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Diferencial	.485	.015	.304	.455	.514
Hidráulico	.524	.015	.097	.495	.553
Mandos	.489	.010	.310	.469	.510
Ruedas	.517	.008	.041	.501	.533
Transmisión	.518	.014	.198	.490	.547
Motor	.505	.009	.603	.486	.523

Fuente: Historial de registro

De la tabla 36 y figura 36, se observa que:

- En el sistema diferencial el área bajo la curva ROC es de 48.5%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.304 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.5%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema hidráulico el área bajo la curva ROC es de 52.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.097 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 52.4%, se debe a la clasificación de la variable.

- En el sistema de mandos el área bajo la curva ROC es de 48.9%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.310 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 48.9%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de ruedas el área bajo la curva ROC es de 51.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.041 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 51.7%, se debe a la clasificación de la variable.
- En el sistema de transmisión el área bajo la curva ROC es de 51.8%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.198 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 51.8%, se debe a la clasificación de otras variables.
- En el sistema del motor el área bajo la curva ROC es de 50.5%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.603 > \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de

discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 50.5%, se debe a la clasificación de otras variables.

Como se observa de la figura 37:

- En el sistema diferencial, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema hidráulico, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de mandos, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así

mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de ruedas, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de transmisión, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- En el sistema de motor, el contenido de vanadio en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

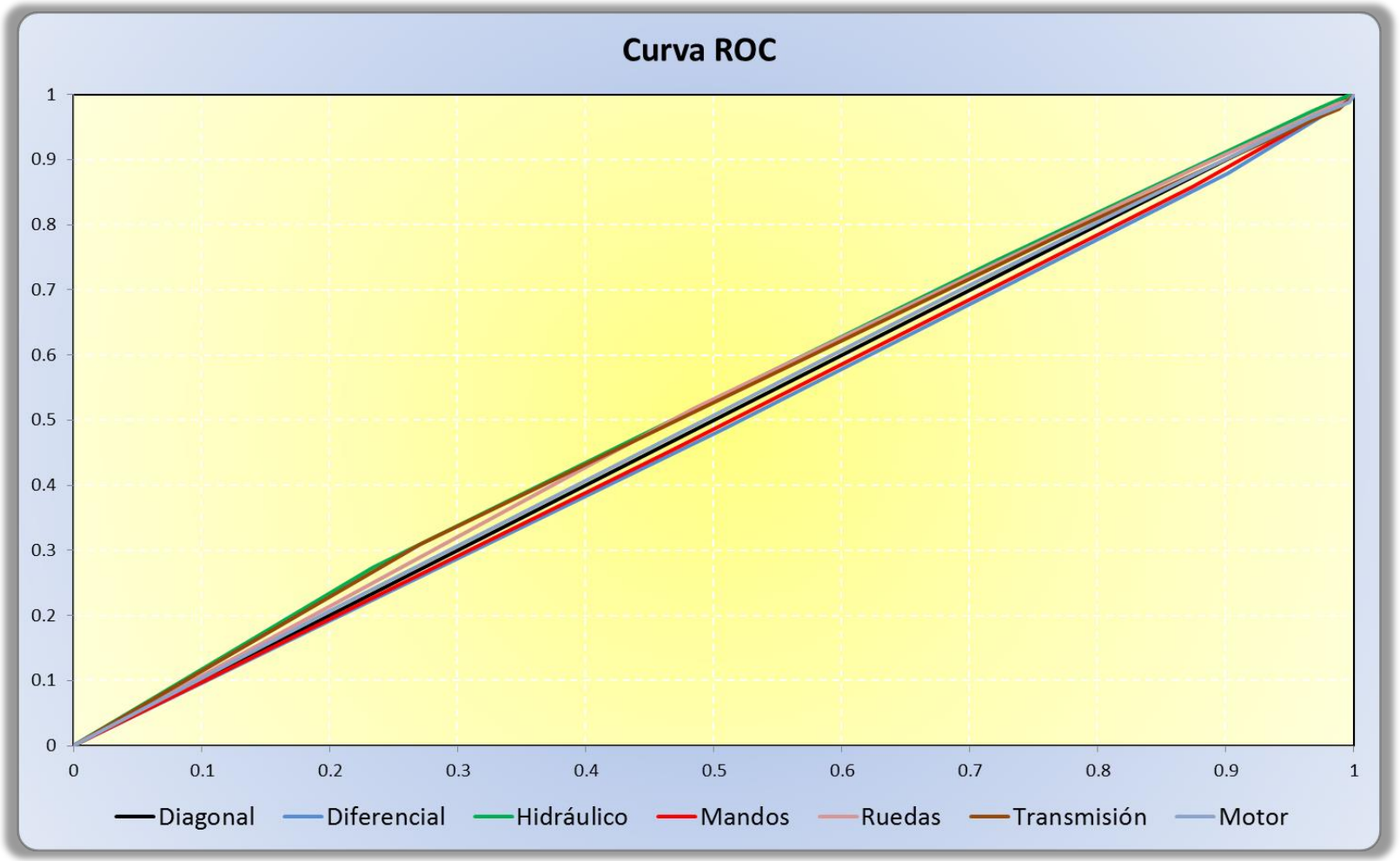


Figura 36. Curva ROC del contenido de Vanadio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.

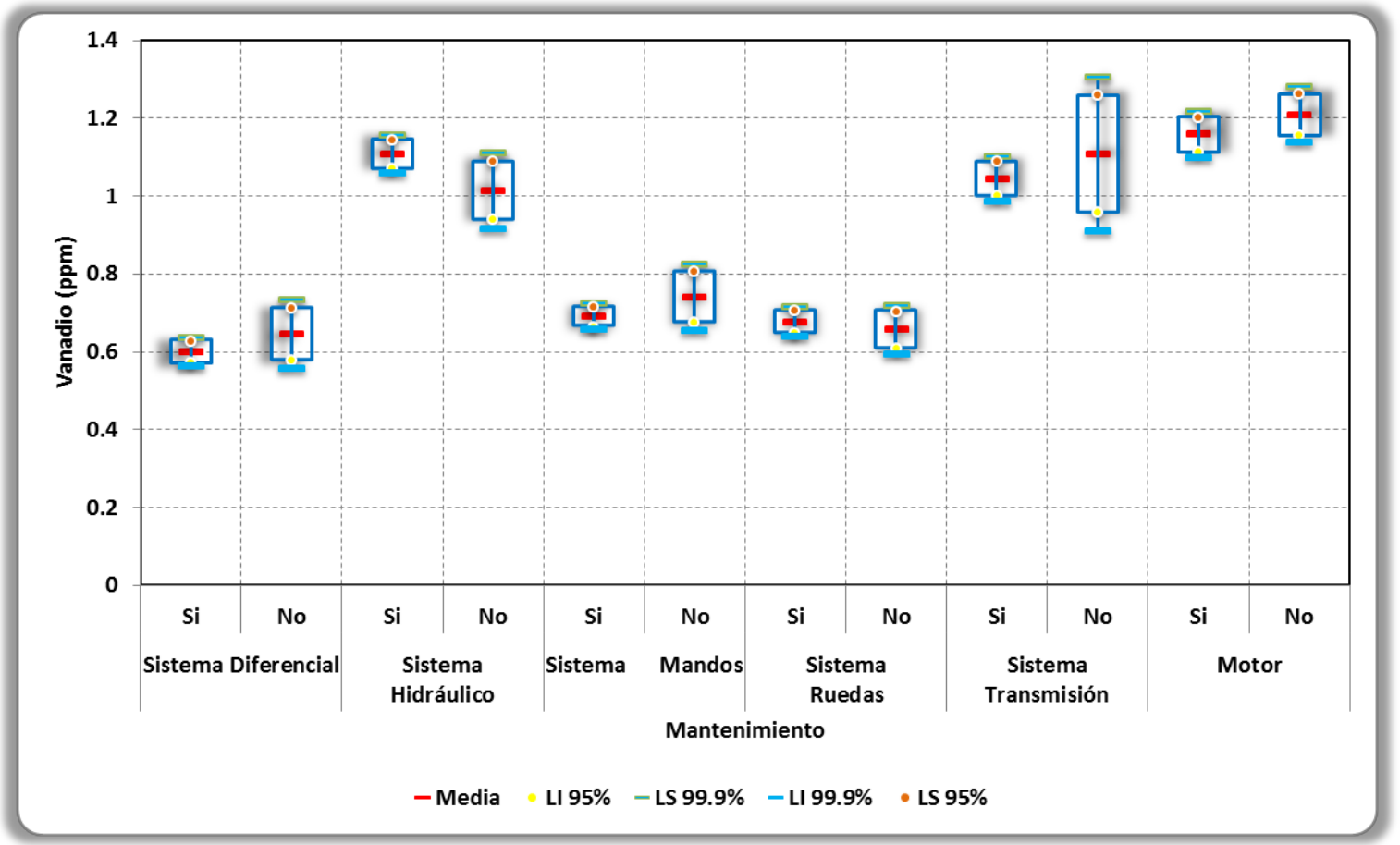


Figura 37. Diagrama de Cajas del contenido de Vanadio en el lubricante de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

xvi. Indicadores adicionales del sistema motor.

De la tabla 37, se observa que:

- El promedio del contenido de Molibdeno (ppm) en los Camiones Caterpillar 785C es de 11.10 ppm en condición de mantenimiento y de 4.11 ppm en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de Hollin (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C es de 12.31 ABS/0.1mm en condición de mantenimiento y de 18.19 ABS/0.1mm en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de Oxidación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C es de 4.70 ABS/0.1mm en condición de mantenimiento y de 7.35 ABS/0.1mm en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de Nitratación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C es de 4.54 ABS/0.1mm en condición de mantenimiento y de 6.81 ABS/0.1mm en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de Sulfatación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C es de 7.11 ABS/0.1mm en condición de mantenimiento y de 10.06 ABS/0.1mm en condición de no mantenimiento.

Tabla 37. ***Estadísticos descriptivos de los indicadores adicionales del sistema de motor en los Camiones Caterpillar 785C según mantenimiento.***

Variable	Mantenimiento	Indicadores adicionales del sistema motor					
		Media	Desviación típica	N total	Mediana	Mínimo	Máximo
Molibdeno (ppm)	**Si**	11.10	13.86	17692	1	0	45
	No	4.11	9.43	6276	1	0	54
Hollin (ABS/0,1mm)	**Si**	12.31	8.38	17692	12	0	65
	No	18.19	11.17	6276	17	0	82
Oxidación (ABS/0,1mm)	**Si**	4.70	2.40	17692	5	0	32
	No	7.35	16.15	6276	7	0	708
Nitración (ABS/0,1mm)	**Si**	4.54	2.03	17692	5	0	13
	No	6.81	2.90	6276	7	0	60
Sulfatación (ABS/0,1mm)	**Si**	7.11	4.28	17692	7	0	25
	No	10.06	5.31	6276	11	0	40
GLYCOL, %	**Si**	0.28	5.26	17692	0	0	173
	No	0.58	15.85	6276	0	0	694
Diesel (%)	**Si**	1.19	28.34	17692	0	0	1023
	No	9.21	107.44	6276	0	0	2018
Agua (% V)	**Si**	0.21	4.32	17692	0	0	162
	No	0.40	13.48	6276	0	0	599
ZnDTP(Abs/0,1mm)	**Si**	-4.84	2.35	17692	-5	-25	0
	No	-6.97	2.66	6276	-7	-80	8

Fuente: Historial de registro

- El promedio del contenido de GLYCOL (%) en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.28% en condición de mantenimiento y de 0.58% en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de Diesel (%) en los Camiones Caterpillar 785C es de 1.19% en condición de mantenimiento y de 9.21% en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de agua (%) en los Camiones Caterpillar 785C es de 0.21% en condición de mantenimiento y de 0.40% en condición de no mantenimiento.

- El promedio del contenido de ZnDTP (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C es de -4.84 ABS/0.1mm en condición de mantenimiento y de -6.97 ABS/0.1mm en condición de no mantenimiento.

Tabla 38. ***Área bajo la curva ROC de los indicadores adicionales del sistema de motor en los Camiones Caterpillar 785C.***

Variables resultado de contraste	Área	Error típico	Sig. Asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Molibdeno (ppm)	.664	.009	.000	.646	.682
Hollín (ABS/0,1mm)	.333	.009	.000	.315	.350
Oxidación (ABS/0,1mm)	.257	.008	.000	.241	.273
Nitración (ABS/0,1mm)	.201	.007	.000	.186	.215
Sulfatación (ABS/0,1mm)	.341	.009	.000	.324	.359
GLYCOL, %	.499	.010	.906	.480	.518
Diesel (%)	.496	.010	.664	.477	.515
Agua (% V)	.500	.010	.973	.481	.519
ZnDTP(Abs/0,1mm)	.776	.008	.000	.760	.791

Fuente: Historial de registro

De la tabla 38 y figura 38, se observa que:

- Para la variable Molibdeno (ppm), el área bajo la curva ROC es de 66.4%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Molibdeno (ppm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 66.4%, se debe a la clasificación de la variable.
- Para la variable Hollín (ABS/0,1mm), el área bajo la curva ROC es de 33.3%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Hollín (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 33.3%, se debe a la clasificación de la variable.
- Para la variable Oxidación (ABS/0,1mm), el área bajo la curva ROC es de 25.7%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Oxidación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 25.7%, se debe a la clasificación de la variable.
- Para la variable Nitratación (ABS/0,1mm), el área bajo la curva ROC es de 20.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Nitratación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 20.1%, se debe a la clasificación de la variable.

- Para la variable Sulfatación (ABS/0,1mm), el área bajo la curva ROC es de 34.1%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Sulfatación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 34.1%, se debe a la clasificación de la variable.
- Para la variable GLYCOL (%), el área bajo la curva ROC es de 49.9%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.906 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de GLYCOL (%) en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.9%, se debe a la clasificación de otras variables.
- Para la variable Diesel (%), el área bajo la curva ROC es de 49.6%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.906 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Diesel (%) en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 49.6%, se debe a la clasificación de otras variables.
- Para la variable Agua (%), el área bajo la curva ROC es de 50.0%, la cual no es significativa al 95% de confianza ($p=0.906 < \alpha=0.05$). Ello significa que el contenido de Agua (%) en los Camiones Caterpillar 785C no presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 50.0%, se debe a la clasificación de otras variables.
- Para la variable ZnDTP (Abs/0,1mm), el área bajo la curva ROC es de 77.6%, la cual es significativa al 95% de confianza ($p=0.000 < \alpha=0.05$). Ello significa que el

contenido de ZnDTP (Abs/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C presenta capacidad de discriminación entre una máquina en mantenimiento o no, y dicho porcentaje 77.6%, se debe a la clasificación de la variable.

Como se observa de la figura 39:

- El contenido de Molibdeno (ppm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Hollin (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Oxidación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Nitración (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Sulfatación (ABS/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de GLYCOL (%) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Diesel (%) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de Agua (%) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan ligeramente mayor concentración en los datos (homogéneos), mientras que los camiones que no cuentan con mantenimiento presentan los datos ligeramente más dispersos (heterogéneos). Así mismo, se

observa que no presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

- El contenido de ZnDTP (Abs/0,1mm) en los Camiones Caterpillar 785C que están en mantenimiento presentan similar dispersión en los datos que los camiones que no cuentan con mantenimiento. Así mismo, se observa que presentan diferencias entre ambos grupos clasificados de los camiones.

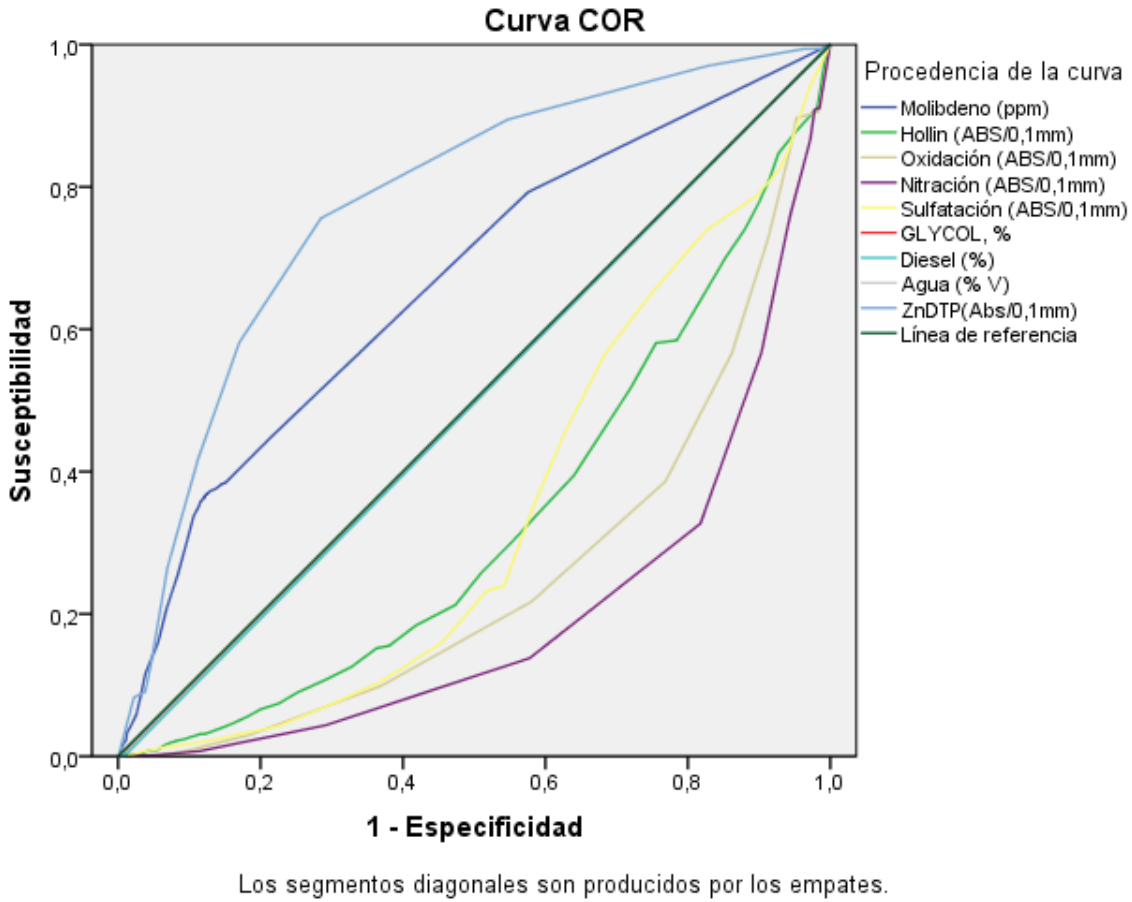


Figura 38. Curva ROC de los indicadores adicionales del sistema de motor de los Camiones Caterpillar 785C.

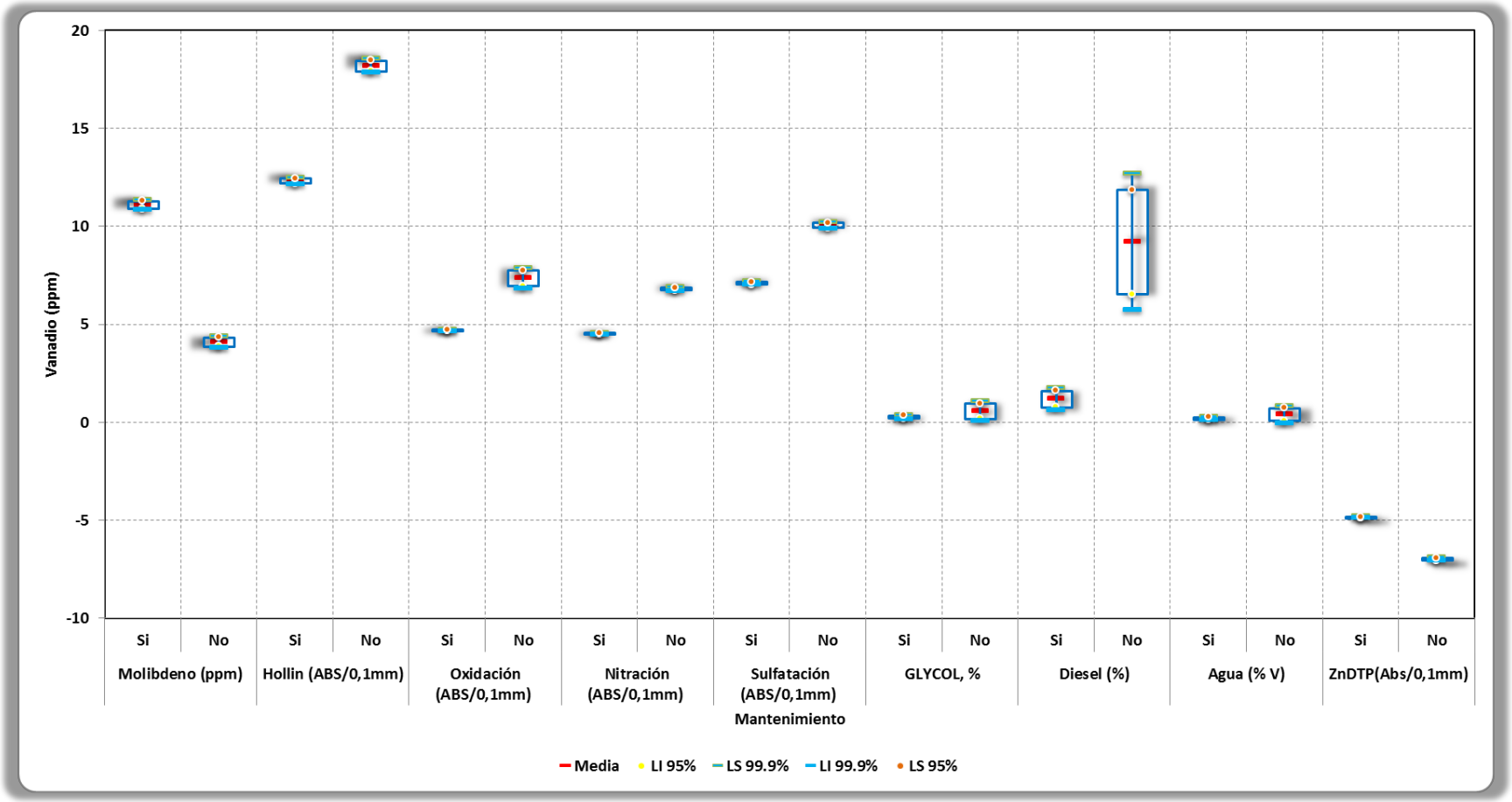


Figura 39. Diagrama de Cajas de los indicadores adicionales del sistema de motor de los Camiones Caterpillar 785C según variable mantenimiento.

5.2. ANÁLISIS MULTIVARIADO

El análisis multivariado se realizó mediante la regresión logística binaria para cada uno de los sistemas estudiados.

Tabla 39. ***Codificación de la Variable Dependiente en los sistemas por lubricante de los Camiones Caterpillar 785C.***

Sistema	Valor original	Valor interno
Diferencial	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1
Hidráulico	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1
Mandos	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1
Ruedas	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1
Transmisión	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1
Motor	Mantenimiento	0
	Sin mantenimiento	1

Fuente: Historial de registro

De la tabla 39, se observa que en los sistemas diferencial, hidráulico, mandos y transmisión los niveles de significación observados son inferiores al nivel de significación teórica del 5%, tanto en las iteraciones, el análisis por bloque y del modelo, lo que significa que los modelos para dichos sistemas son los adecuados. Así mismo, se observa que para el sistema de ruedas y de motor la iteración no es la adecuada, ya que la significación observada es superior a la significación teórica, pero

que en el análisis del bloque y del modelo si resulta ser significativo, todo ello según la prueba de ómnibus sobre los coeficientes de los modelos estimados.

Tabla 40. ***Pruebas omnibus sobre los coeficientes de los modelos estimados.***

Sistema	Iteración	Detalle	Chi cuadrado	gl	Sig.
Diferencial	Paso 6	Paso	4.838	1	.028
		Bloque	388.413	6	.000
		Modelo	388.413	6	.000
Hidráulico	Paso 6	Paso	4.673	1	.031
		Bloque	248.816	6	.000
		Modelo	248.816	6	.000
Mandos	Paso 7	Paso	8.825	1	.003
		Bloque	756.716	7	.000
		Modelo	756.716	7	.000
Ruedas	Paso 9	Paso	3.749	1	.053
		Bloque	1169.537	9	.000
		Modelo	1169.537	9	.000
Transmisión	Paso 7	Paso	9.544	1	.002
		Bloque	335.891	7	.000
		Modelo	335.891	7	.000
Motor	Paso 14	Paso	-2.687	1	.101
		Bloque	2692.131	12	.000
		Modelo	2692.131	12	.000

Fuente: Historial de registro

De la tabla 40, se observa que en todos los sistemas los modelos de regresión logística estimados presentan verosimilitudes superiores a cero, R cuadrados de Cox y Snell bajos (excepto en el sistema de motor con $R_{Cox\text{-}Snell} = 0.525$) y R cuadrado de Nagelkerke bajos (excepto en el sistema de motor con $R_{Nagelkerke} = 0.703$). Lo que nos indican que los modelos presentan poca capacidad de ajuste y que deben ser tomados

como referencias iniciales para estudios posteriores en la que se midan con mayor precisión cada uno de los indicadores estudiados en cada uno de los sistemas.

Tabla 41. ***Resumen de bondad de ajuste de los modelos estimados.***

Sistema	Paso	-2 log de la verosimilitud	R cuadrado de Cox y Snell	R cuadrado de Nagelkerke
Diferencial	6	2034.233	.129	.224
Hidráulico	6	2339.592	.076	.136
Mandos	7	4277.617	.124	.212
Ruedas	9	5826.537	.194	.267
Transmisión	7	2348.855	.103	.177
Motor	14	2280.807	.525	.703

Fuente: Historial de registro

En la tabla 41, se muestra la Prueba de Hosmer y Lemeshow en la que se aprecia que en el sistema hidráulico no es significativo, significando así que no hay diferencias entre los valores observados y los valores pronosticados (probabilidades), significando así que el modelo está bien ajustado. Así mismo, para los demás sistemas (diferencial, mandos, ruedas, transmisión y motor), se observa que son significativos, es decir, significa que los valores observados y pronosticados presentan diferencias, así los modelos no se encuentran bien ajustados.

Tabla 42. ***Prueba de Hosmer y Lemeshow de los modelos estimados.***

Sistema	Paso	Chi cuadrado	gl	Sig.
Diferencial	6	19.332	8.000	.013
Hidráulico	6	7.121	8.000	.524
Mandos	7	36.032	8.000	.000
Ruedas	9	77.577	8.000	.000
Transmisión	7	47.757	8.000	.000
Motor	14	254.351	8.000	.000

Fuente: Historial de registro

Tabla 43. ***Tabla de Clasificación de los modelos estimados.***

Sistema	Iteración	Observado	Pronosticado		
			Mantenimiento		Porcentaje correcto
			Si	No	
Diferencial	Paso 6	Mantenimiento	2320	46	98.1
		Sin mantto.	361	75	17.2
		Porcentaje global			**85.5**
Hidráulico	Paso 6	Mantenimiento	2672	18	99.3
		Sin mantto.	426	26	5.8
		Porcentaje global			**85.9**
Mandos	Paso 7	Mantenimiento	4693	85	98.2
		Sin mantto.	764	155	16.9
		Porcentaje global			**85.1**
Ruedas	Paso 9	Mantenimiento	3185	384	89.2
		Sin mantto.	1052	816	43.7
		Porcentaje global			**73.6**
Transmisión	Paso 7	Mantenimiento	2557	45	98.3
		Sin mantto.	454	31	6.4
		Porcentaje global			**83.8**
Motor	Paso 9	Mantenimiento	1415	209	87.1
		Sin mantto.	155	1835	92.2
		Porcentaje global			**89.9**

Fuente: Historial de registro

De la tabla de clasificación (tabla 43), se observa que los modelos estimados presentan un porcentaje global de pronóstico correcto del 85.5%, 85.9%, 85.1%, 73.6%, 83.8% y 89.9% de los sistemas diferencial, hidráulico, mandos, ruedas, transmisión y motor respectivamente.

Tabla 44. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema Diferencial***

Sistema	Variable							I.C. 95% para EXP(B)	
		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Inferior	Superior
Diferencial									
	viscosidad	-.002	.001	15.967	1	.000	.998	.997	.999
	fierro	.075	.005	236.197	1	.000	1.078	1.068	1.088
	cobre	.040	.006	41.357	1	.000	1.041	1.028	1.053
	estaño	-.321	.145	4.871	1	.027	.726	.546	.965
	boro	-.197	.067	8.709	1	.003	.821	.720	.936

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(viscosidad*-0.002+fierro*0.075+cobre*0.040-estaño*3.21-boro*1.97)}}$$

De la tabla 44, se observa que:

Para el sistema diferencial: la viscosidad, el contenido de estaño y el contenido de boro representan variables de protección del sistema, mientras que el contenido de fierro y de cobre son variables de riesgo del sistema.

Tabla 45. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema Hidráulico.***

Sistema	Variable	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95% para EXP(B) Inferior	Superior
Hidráulico									
	fierro	.041	.007	35.041	1	.000	1.042	1.028	1.056
	Constante	-4.151	.188	486.261	1	.000	.016		
	plomo	.136	.031	18.955	1	.000	1.146	1.078	1.218
	silicio	.062	.007	68.632	1	.000	1.064	1.048	1.079
	sodio	.014	.003	15.909	1	.000	1.014	1.007	1.021

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(fierro*0.041+plomo*0.0136+silicio*0.062+\ sodio*0.014-constante*4.151)}}$$

De la tabla 45, se observa que:

Para el sistema hidráulico: el contenido de fierro, plomo, silicio y de sodio son variables de riesgo del sistema.

Tabla 46. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Mandos.***

Sistema	Variable							I.C. 95% para EXP(B)	
		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Inferior	Superior
Mandos									
	viscosidad	-.003	.000	86.949	1	.000	.997	.996	.997
	fierro	.071	.004	380.405	1	.000	1.073	1.066	1.081
	cobre	.024	.003	68.334	1	.000	1.024	1.019	1.030
	silicio	.027	.008	12.273	1	.000	1.027	1.012	1.043
	sodio	.017	.006	9.515	1	.002	1.017	1.006	1.028

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(viscosidad*-0.003+fierro*0.071+cobre*0.024+silicio*0.027+sodio*0.017)}}$$

De la tabla 46, se observa que:

- Para el sistema de mandos: la viscosidad representa una variable de protección para el sistema, mientras que el contenido de fierro, cobre, silicio y de sodio representan variables de riesgo para el sistema.

Tabla 47. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Ruedas.***

Sistema	Variable							I.C. 95% para EXP(B)	
		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Inferior	Superior
Ruedas									
	viscosida	-.001	.000	90.188	1	.000	.999	.999	.999
	fierro	.071	.005	195.698	1	.000	1.073	1.063	1.084
	cobre	.034	.013	6.673	1	.010	1.034	1.008	1.061
	aluminio	-.159	.038	17.803	1	.000	.853	.792	.918
	niquel	.107	.027	15.596	1	.000	1.113	1.055	1.174
	silicio	.014	.003	29.797	1	.000	1.014	1.009	1.019
	sodio	.021	.007	8.540	1	.003	1.022	1.007	1.036
	Constante	1.628	.228	50.889	1	.000	5.095		

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(viscosidad*-0.001+fierro*0.071+cobre*0.034-aluminio*0.159+niquel*0.107+silicio*0.014+sodio*0.021+constante*1.628)}}$$

De la tabla 47, se observa que

- Para el sistema de ruedas: la viscosidad y el contenido de aluminio representan variables de protección para el sistema, mientras que el contenido de fierro, cobre, níquel, silicio y sodio representan variables de riesgo para el sistema.

Tabla 48. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el sistema de Transmisión.***

Sistema	Variable	B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	I.C. 95% para EXP(B) Inferior	Superior
Transmisión									
	fierro	.079	.014	32.387	1	.000	1.082	1.053	1.112
	cobre	.009	.003	7.162	1	.007	1.009	1.002	1.015
	silicio	.064	.020	9.867	1	.002	1.066	1.024	1.109
	sodio	.038	.011	12.698	1	.000	1.039	1.017	1.061
	Constante	-2.292	.222	106.483	1	.000	.101		

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(fierro*0.079+cobre*0.009+silicio*0.064+sodio*0.038-constante*2.292)}}$$

De la tabla 48, se observa que

- Para el sistema de transmisión: el contenido de fierro, cobre, silicio, sodio y plomo representan variables de riesgo para el sistema.

Tabla 49. ***Variables en la ecuación del modelo de regresión logística estimados para el Motor.***

Sistema	Variable							I.C. 95% para EXP(B)	
		B	E.T.	Wald	gl	Sig.	Exp(B)	Inferior	Superior
Motor									
	horaaceite	.014	.001	686.571	1	.000	1.014	1.013	1.015
	cromo	-.525	.118	19.708	1	.000	.592	.470	.746
	plomo	.272	.046	35.105	1	.000	1.313	1.200	1.437
	estaño	-.605	.122	24.744	1	.000	.546	.430	.693
	aluminio	.177	.049	12.816	1	.000	1.193	1.083	1.314
	niquel	-.216	.091	5.698	1	.017	.806	.675	.962
	silicio	.102	.031	11.128	1	.001	1.108	1.043	1.176
	sodio	.011	.004	9.174	1	.002	1.011	1.004	1.019
	magnesio	.012	.002	51.610	1	.000	1.012	1.009	1.015
	mhollin	-.014	.006	5.036	1	.025	.986	.975	.998
	mDiesel	.004	.001	16.818	1	.000	1.004	1.002	1.006
	Constante	-1.595	.239	44.658	1	.000	.203		

Fuente: Historial de registro

$$P(Y=1) = \frac{1}{e^{-(horaaceite*0.014-cromo*0.525+plomo*0.272-estaño*0.605+aluminio*0.177-niquel*0.216+silicio*0.102+sodio*0.011+magnesio*0.012-mhollin*0.014+mdiesel*0.004-constante*1.595)}}$$

De la tabla 49, se observa que

- Para el motor: el contenido de cromo, estaño, níquel y el porcentaje de hollín representan variables de protección del motor, mientras que las horas de aceite, el contenido de plomo, aluminio, silicio, sodio, magnesio y el porcentaje de diésel representan variables de riesgo para el motor.

B. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La viscosidad es la característica más importante de la lubricación de cualquier máquina. Si la viscosidad del lubricante es muy baja para la aplicación, el desgaste es mayor por falta de colchón hidrodinámico. Si la viscosidad del lubricante es muy alta para la aplicación, el consumo de energía es mayor, el desgaste puede ser mayor por falta de circulación y el lubricante se calentará por fricción.

Solamente la viscosidad correcta maximizará la vida útil y la eficiencia del motor, transmisión, sistema hidráulico y otros.

En ese sentido, la viscosidad en los sistemas diferencial, sistema de mandos y sistema de ruedas juega un papel muy importante de protección en la fricción de los metales, generando niveles bajos de desgaste y por ende una mayor vida útil del equipo.

Por otro lado, la viscosidad es la medida de la resistencia que ofrece un aceite o liquido cualquiera a fluir. Determina el rango de temperaturas a que puede trabajar un aceite. Condiciona la capacidad del mismo para ser bombeado a todos los órganos del motor o circuito y la resistencia de la película lubricante en las partes móviles.

Así mismo, la disminución de la viscosidad, genera dilución por combustible y la reposición de aceite de menor viscosidad. Un aumento de la viscosidad, genera alta concentración de productos insolubles, oxidación del aceite, reposiciones de aceite de mayor viscosidad, y contenidos de agua.

Por otro lado, el contenido del agua, presenta efecto sobre el aceite lubricante resulta muy perjudicial ya que se forman emulsiones, que junto con la suciedad forman depósitos que interfieren la lubricación correcta. También ocasiona herrumbre y corrosión en los circuitos de lubricación de los motores y maquinas.

Puede ser debida a: Condensación del vapor cuando el motor o maquina dejan de funcionar. Perdidas del fluido refrigerante del propio sistema de refrigeración.

El desgaste de metales en todo el motor aunque este bien rodado y con un buen mantenimiento se produce desgaste. Sin embargo las concentraciones en partículas metálicas varían de un motor a otro, e incluso entre motores idénticos de la misma marca. El análisis espectográfico del aceite del motor usado es una herramienta muy útil para medir la cantidad de los contaminantes de metales de desgaste del aceite. Los metales se encuentran en el aceite debido al desgaste de algunas piezas del motor **(**Aluminio**,** Plomo**,** Cromo**,** Níquel**,** Cobre**,** Estaño**,** Hierro**).** El Silicio puede ingresar en el aceite debido a la entrada de suciedad al motor (Polvo, arena, etc.,). Si se producen fugas del líquido refrigerante del motor en el aceite puede encontrarse Boro, Sodio y tal vez Potasio. También pueden encontrarse en el aceite usado un grupo de metales provenientes de los aditivos, del aceite nuevo. Estos metales suelen ser Calcio, Magnesia, Zinc y Fósforo**.**

Hierro**:** Usualmente un aumento brusco del contenido en Fe en un aceite usado es causado por el excesivo desgaste de las Camisas (Cilindros).

También puede estar relacionado con la corrosión (Oxidación de piezas del Motor) debido a periodos prolongados de parada del motor y no poseer un aceite protector.

Cromo**:** El Cromo puede provenir de los Aros del 'Pistón (Aros cromados), Levas y empujadores de válvulas y algunas camisas que lleven aleaciones con este metal.

Cobre**:** La presencia de niveles altos de cobre puede estar indicando el desgaste de los Cojinetes de aleación Cobre Plomo.

También puede proceder de diferentes piezas del motor que incorporan este metal en sus aleaciones (Casquillos de pie de Biela, Cojinetes de empuje del Cigüeñal, etc.)

Puede proceder del núcleo del enfriador de Aceite.

Plomo**:** La presencia de Plomo puede indicar desgastes en los Cojinetes del motor.

Con frecuencia el plomo se utiliza en las aleaciones de los Cojinetes principales y de Biela del Motor.

Podría proceder, en los motores a Gasolina, del propio combustible que incorpora aditivos con plomo.

Aluminio: La presencia de Aluminio procede del desgaste de los propios pistones del Motor.

También puede proceder de los Cojinetes de empuje del Cigüeñal y Cojinetes intermedios de Levas.

Estaño**:** La presencia elevada de estaño puede proceder de los Cojinetes de biela y Cojinetes principales del Cigüeñal.

Silicio**:** La presencia de Silicio indica la entrada de suciedad. Esta puede ser debida a que el sistema de toma de aire es defectuosos (Filtros de aire). También la suciedad puede entrar al motor a través de la tapa de llenado y las cubiertas de respiradero del motor.

También puede provenir del desgaste de los pistones de aleación de aluminio que tienen un alto contenido de silicio.

Determinados aceites de motor llevan incorporado cierta cantidad de Silicio en el aceite nuevo como aditivo antiespumante. Debe tenerse esto en cuenta para poder evaluar en la mejor forma posible el resultado en estos aceites.

El Silicio también está presente en los combustibles de los motores, sobre todo en los residuales.

La combinación de lecturas de metales de desgaste elementales indica el punto de entrada de suciedad, señalando cual es el componente del motor que evidencia un desgaste anormal. Por ejemplo, una combinación de contenidos elevados de Silicio, Hierro y Cromo indica la entrada de suciedad a través del sistema de aire, lo que puede causar el desgaste de las camisas y los aros del pistón.

Un contenido en Silicio de 100 ppm. o superior puede indicar un desgaste abrasivo severo-de piezas móviles del motor. Si esta condición se produce debe cambiarse inmediatamente la carga de aceite y el filtro de aire.

Sodio**:** Los niveles elevados de Sodio obedecen a fugas del líquido refrigerante de los Motores. Existe Sodio presente en los inhibidores de corrosión de los refrigerantes. El metaborato de sodio es un inhibidor de corrosión común.

También el Sodio está presente en los combustibles residuales (IFO) utilizados en los grandes motores diésel marinos y estacionarios.

Metales de adivinación**:** Debe tenerse en cuenta en la interpretación de resultados de análisis de aceites usados en Motores Diésel los metales presentes en el aceite como aditivos mejoradores de las características de los aceites.

Estos metales corresponden a: Calcio, Magnesio, Fósforo y Zinc.

Las cantidades existentes en los aceites varían de acuerdo a su composición y aplicaciones. Debe tenerse en cuenta su valor original para compararlo con los resultados obtenidos en el aceite usado.

Así mismo, estos metales actúan en todos los sistemas como factores de riesgo, como por ejemplo en el sistema diferencial el fierro y el cobre actúan como factores de riesgo producto de las fricciones entre los metales, debido a una inadecuada viscosidad.

Del mismo modo, en el motor el plomo, aluminio, silicio, sodio magnesio son agentes que ponen en riesgo al camión, debido a la interacción de fugas de líquidos refrigerantes combinados con los aditivos de los lubricantes, así como el contacto con la suciedad en la entrada de los filtros de aire, así como del desgaste de los pistones del motor.

Todos estos metales encontrados son conducidos por los lubricantes, las cuales de mesclan entre sí, y dan síntomas de que las máquinas no marchan adecuadamente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Los factores asociados para el mantenimiento por lubricante en los Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM, son: viscosidad, estaño, boro, aluminio, cromo, níquel, hollín, fierro, cobre, plomo, silicio, sodio, magnesio y diésel.

2. Los factores de protección para el mantenimiento por lubricante en los Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM, son: para el sistema diferencial la viscosidad, el contenido de estaño y de boro; para el sistema de mandos la viscosidad; para el sistema de ruedas la viscosidad y el contenido de aluminio; y para el sistema de motor el contenido de cromo, estaño, níquel y el hollín.

3. Los factores de riesgo para el mantenimiento por lubricante en los Camiones CAT 785C del proyecto Pierina – MBM, son: para el sistema diferencial el contenido de fierro y cobre; para el sistema hidráulico el contenido de fierro, plomo, silicio y sodio; para el sistema de mandos el contenido de fierro, cobre, silicio y sodio; para el sistema de ruedas el contenido de fierro, cobre, níquel, silicio y sodio; para el sistema de transmisión el contenido de fierro, cobre, silicio, sodio y plomo; y para el motor el contenido de plomo, aluminio, silicio, sodio, magnesio y el diésel.

4. Los modelos de regresión logística estimados para los factores asociados al mantenimiento de los camiones CAT 785C del Proyecto Pierina de MBM, no son los adecuados por su poca bondad de ajuste, representados por los coeficientes de determinación obtenidos, por lo que su utilización se limita a la interpretación simple como estudio exploratorio.

Los modelos de regresión logística múltiple estimados para los sistemas de camión CAT 785c son:

Para el sistema diferencial.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(viscosidad*-0.002+fierro*0.075+cobre*0.040-estaño*3.21-boro*1.97)}}$$

Para el sistema Hidráulico.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(fierro*0.041+plomo*0.0136+silicio*0.062+sodio*0.014-constante*4.151)}}$$

Para el sistema de Mandos.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(viscosidad*-0.003+fierro*0.071+cobre*0.024+silicio*0.027+sodio*0.017)}}$$

Para el sistema Ruedas.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(viscosidad*-0.001+fierro*0.071+cobre*0.034-aluminio*0.159+niquel*0.107+silicio*0.014+sodio*0.021+constante*1.628)}}$$

Para el sistema Transmisión.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(fierro*0.079+cobre*0.009+silicio*0.064+sodio*0.038-constante*2.292)}}$$

Para el Motor.

$$P(Y=1)=\frac{1}{1+e^{-(horaaceite*0.014-cromo*0.525+plomo*0.272-estaño*0.605+aluminio*0.177-niquel*0.216+silicio*0.102+sodio*0.011+magnesio*0.012-mhollin*0.014+mdiesel*0.004-constante*1.595)}}$$

RECOMENDACIONES

- A la Minera Barrick Misquichilca, realizar estudios relacionando todos los indicadores obtenidos de las inspecciones vehiculares, con la finalidad de determinar causas conjuntas del desgaste de los camiones cat.

- A la Escuela de Estadística e Informática, promover talleres o cursos libres de regresión logística, ya que son herramientas útiles para la toma de decisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altmann Carolina. (2005). Titulo: “El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada”. Uruguay. Recuperado de http://www.uruman.org/material_tecnico/X%20Titulos/Analisis%20de%20Aceite%20en%20mantenimiento%20proactivo.pdf

Catena Andrés. Ramos Manuel. Trujillo Humberto. (2003). Título “Análisis Multivariado”. España. (p.121-159).

Caterpillar, (1997). Productos de mantenimiento preventivo, como tomar una buena muestra de aceite. PSHP6001-07.

Caterpillar. (2012). Recomendaciones de fluidos para maquinas Caterpillar. SSBU6250-13. Perú. Recuperado de http://lamaquinariapesadacat.blogspot.com/2012/10/cargadores-966k-y-972k-recomendaciones.html.

Espectropía Recuperado de http://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia.

Faleni Fernández Gabriel Antonio. (2009). Titulo "Optimización del mantenimiento mediante la optimización de técnicas proactivas y preventivas de SOS para la flota de camiones Caterpillar 785C". Perú. Recuperado de http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/optimizacion-del-proceso-pcp-hierro-fino-y-grueso-cvg-fmo/optimizacion-del-proceso-pcp-hierro-fino-y-grueso-cvg-fmo.pdf.

Ferreyros Cat. (2009). Titulo: Camión Minero 785C. Perú. Recuperado de http://www.ferreyros.com.pe/include/descarga_archivo.php?f=../adjunto/upload/contenido/pdf/producto_modelo/maquinas-camionminero-785c.pdf.

Ferreyros Cat. (2012). Titulo: “Camiones de Minería 785C”. Perú. Recuperado de http://www.viarural.com.pe/agroindustria/maquinaria-onstruccion/caterpillar/camiones-de-obras/785c.htm.

Knezevic Jezdinir. (1996). Publicaciones De Ingeniería De Sistemas – mantenimiento. Recuperado ehttp://www.sistemas.edu.bo/jorellana/ISDEFE/10%20Mantenimiento.PDF

Ramírez Hernández Julio Francisco. (2007). Titulo: “Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones S.A.”. Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0124_MT.pdf

Silva Martínez Carlos. (2007). Título "Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre". Pereira. Recuperado de http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/819/1/6200046S586ds.pdf

Uriel Ezequiel. Aldás Joaquín. (2005). Título “Analisis Multivariante Aplicado”. España. (p. 407-524).

Vargas Michel. (2007). Título " Análisis Mantenimiento Automotriz para vehículos de hasta tres toneladas para transporte de pasajeros". Quito Ecuador.

Widman International SRL. (2009). American Quality Lubircants. Bolivia. Recuperado de http://www.widman.biz/Seleccion/viscosidad.html

ANEXOS

Los Anexos se encuentran en la tesis Física en la Biblioteca especializada de la Facultad de Ciencias o la biblioteca central de la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo .