



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para
incrementar la disponibilidad en una Flota de Tractores de una
empresa Minera

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Moreno Osorio, Daniel Sanghy (ORCID: 0000-0002-5063-0647)

ASESOR:

Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas y Planes de Mantenimiento

TRUJILLO-PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza, sabiduría e iluminar mi camino para cumplir esta meta.

A mis padres, por todos los sacrificios que tuvieron que hacer a lo largo de mi vida, por el apoyo incondicional en cada uno de mis logros y por los consejos que me llevaron a ser la persona que ahora soy.

AGRADECIMIENTO

A la universidad Cesar Vallejo, por darme la oportunidad de iniciar y culminar esta etapa profesional.

A todos los docentes que tuve en cada semestre, por sus enseñanzas y en especial a mis asesores de tesis, por sus recomendaciones para lograr mejorar este trabajo.

Índice de contenidos

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Variables y operacionalización.....	14
3.3. Población, muestra y muestreo.....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5. Procedimientos	15
3.6. Método de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos	16
IV. RESULTADOS.....	17
4.1. Evaluación de la disponibilidad de la flota de tractores.....	17
4.1.1 Listado de equipos del estudio.....	17
4.1.2 Ficha técnica de tractores	19
4.1.3 Establecer la base de datos de mantenimiento	21
4.1.4 Calcular la disponibilidad	24
4.2. Identificación de los equipos críticos.....	26
4.2.1 Establecer los criterios de criticidad.....	26
4.2.2 Selección de los equipos críticos	27
4.3. Análisis de las fallas en los equipos críticos.....	27
4.3.1 Análisis de fallas en Tractor D8T-3.....	27
4.3.2 Análisis de fallas en Tractor 9T-1.....	30
4.4. Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF)	32
4.4.1 Análisis AMEF en Tractores D8T-3 y D9T-2	34
4.4.2 Diagrama Causas	36

4.5. Diseño del Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad.....	37
4.6. Validación estadística de los efectos del plan de mantenimiento en la disponibilidad de la flota de tractores.....	42
4.6.1 Validación estadística de los efectos del plan en el tractor D8T-3.....	43
4.6.2 Validación estadística de los efectos del plan en el tractor D9T-1.....	47
4.7. Viabilidad económica de la implementación del plan de mantenimiento.	51
V. DISCUSIÓN.....	54
VI. CONCLUSIONES.....	58
VII. RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS.....	61
ANEXOS.....	66

Índice de Tablas

Tabla N° 1.	Comparación estrategias de mantenimiento	10
Tabla N° 2.	Lista de tractores de la flota	18
Tabla N° 3.	Sistemas de los tractores	21
Tabla N° 4.	Base de datos de mantenimientos en los tractores.....	23
Tabla N° 5.	Cálculo de disponibilidad.....	25
Tabla N° 6.	Disponibilidad de equipos 04/2018 al 12/2019	26
Tabla N° 7.	Tipos de mantenimiento y frecuencia.....	29
Tabla N° 8.	Ciclo de mantenimiento del tractor D8T-3	29
Tabla N° 9.	Ciclo de mantenimiento del tractor D9T-1	31
Tabla N° 10.	Detalle de ponderación de gravedad (NPR).....	32
Tabla N° 11.	Detalle de ponderación de ocurrencia (NPR)	33
Tabla N° 12.	Detalle de ponderación de detección (NPR)	33
Tabla N° 13.	Detalle de ponderación de detección (NPR)	34
Tabla N° 14.	AMEF transmisión de tractor D9T-1	35
Tabla N° 15.	Plan de mantenimiento.....	37
Tabla N° 16.	Plan de mantenimiento basado	38
Tabla N° 17.	Costos de capacitación para nuevas tareas.....	39
Tabla N° 18.	Detalle de costos de los mantenimientos antes	39
Tabla N° 19.	Detalle de costos de los mantenimientos después.....	39
Tabla N° 20.	Disponibilidad antes y después en los tractores.....	42
Tabla N° 21.	Cálculo de t para el tractor D8T-3	44
Tabla N° 22.	Cálculo de t para el tractor D8T-3	44
Tabla N° 23.	Cálculo de t para el tractor D9T-1	48
Tabla N° 24.	Cálculo de t para el tractor D9T-1	48
Tabla N° 25.	Precio de alquiler de tractores D8T, D9T y D10T	51
Tabla N° 26.	Validación económica.....	52

Índice de figuras

Figura N° 1.	Tractor D8T-1	17
Figura N° 2.	Partes principales del tractor	18
Figura N° 3.	Dimensiones tractor D8T	19
Figura N° 4.	Ficha técnica tractor D8T	19
Figura N° 5.	Dimensiones tractor D9T	20
Figura N° 6.	Ficha técnica tractor D9T	20
Figura N° 7.	Detalle de disponibilidad de tractores.....	27
Figura N° 8.	Fallas por sistema en tractor D8T-3	28
Figura N° 9.	Fallas por sistema en tractor D8T-3	29
Figura N° 10.	Costos de mantenimiento preventivo tractor D8T-3	30
Figura N° 11.	Fallas por sistema en tractor D9T-1	30
Figura N° 12.	Fallas por sistema en tractor D9T-1	31
Figura N° 13.	Costo del mantenimiento preventivo tractor D9T-1	31
Figura N° 14.	Diagrama de causas.....	36
Figura N° 15.	Plan de mantenimiento 2000Hrs D8T-3	40
Figura N° 16.	Plan de mantenimiento 2000Hrs D8T-3	41
Figura N° 17.	Seguimiento análisis de aceite de los tractores.....	41
Figura N° 18.	El valor de t cae en la zona de rechazo según la T-Sudent	45
Figura N° 19.	Gráfica de caja de la disponibilidad antes y después.....	46
Figura N° 20.	Gráfica de probabilidad de disponibilidad antes y después.....	46
Figura N° 21.	El valor de t cae en la zona de rechazo según la T-Sudent	49
Figura N° 22.	Gráfica de caja de la disponibilidad antes y después.....	50
Figura N° 23.	Gráfica de probabilidad de disponibilidad antes y después.....	50

RESUMEN

El presente estudio tiene por objetivo implementar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), para lograr incrementar la disponibilidad de una flota de tractores, que trabajan en una presa de relaves, en una empresa minera. Como primer punto, se recopiló información del historial de fallas de la flota, comprendida en los años 2018 y 2019, con el fin de analizar la situación de los equipos, luego, en base al cálculo de los indicadores MTBF y MTTR, se obtuvo la disponibilidad inicial de cada uno de los tractores, obteniendo un promedio de 88.53%, un valor por debajo del 90% requerido. Después se pasó a determinar los equipos críticos, teniendo en cuenta los valores de disponibilidad y fallas más frecuentes. Del análisis se seleccionaron dos tractores, a los cuales se le aplicó el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF), para determinar las tareas de mantenimiento y luego, las frecuencias de ejecución, dando como resultado el plan de mantenimiento, que se implementó en los equipos seleccionados, y se realizó seguimiento para corroborar los resultados que tendría la aplicación del plan de mantenimiento en la disponibilidad de los equipos, durante el periodo 2020 y 2021. Después se analizaron los datos obtenidos con el nuevo plan de mantenimiento, logrando una disponibilidad promedio de 96.5% en los equipos, lo que significa un incremento de 7.97%, con respecto a la disponibilidad inicial de la flota. Con los datos obtenidos, antes y después de la ejecución del plan de mantenimiento, se procedió a la validación estadística, utilizando la distribución T-Student, de igual manera se validó económicamente la implementación, utilizando con los indicadores TIR – 272.88%, VAN – 279296.01 dólares y B/C – 1.27. De los resultados obtenidos, se demuestra la rentabilidad que el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Palabras clave: mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), disponibilidad, plan de mantenimiento, estrategias de mantenimiento

ABSTRACT

The objective of this study is to implement a reliability-based maintenance plan (RCM), to increase the availability of a fleet of tractors, which work in a tailings dam, in a mining company. As a first point, information on the failure history of the fleet was collected, included in the years 2018 and 2019, in order to analyze the situation of the equipment, then, based on the calculation of the MTBF and MTTR indicators, the Initial availability of each equipment, obtaining an average of 88.53%, a value below the required 90%. The critical equipment was then determined, taking into account the most frequent availability values and failures. From the analysis, two tractors were selected, to which the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) was applied, to determine the maintenance tasks and then the execution frequencies, resulting in the maintenance plan, which was implemented. in the selected equipment, and a follow-up was carried out to corroborate the results that should be applied by the maintenance plan in the availability of the equipment, during the period 2020 and 2021. Afterwards, the data obtained with the new maintenance plan was analyzed, achieving a 96.5% average availability in the equipment, which means an increase of 7.97%, with respect to the initial availability of the fleet. With the data, obtained before and after the execution of the maintenance plan, the statistical validation was carried out, using the T-Student distribution, in the same way the implementation was economically validated, using the indicators TIR - 272.88%, NPV - 279296.01 dollars and B / C - 1.27. From the results obtained, the profitability of the maintenance plan focused on reliability is demonstrated.

Keywords: reliability centered maintenance (RCM), availability, maintenance plan, maintenance strategies

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las empresas del sector minería se utilizan diferentes tipos de equipos para el movimiento de tierra y desplazamiento de materiales, en especial utilizan tractores. La tierra es un material muy abrasivo, y los tractores, al estar en constante movimiento y contacto con ella, tienen un elevado desgaste en sus componentes, lo que influye directamente en su rendimiento y productividad (Cordero & Estupinan, 2018).

Por esto, es necesario que las empresas establezcan alguna estrategia de mantenimiento, que busque extender la vida útil de los activos, y así mantener su productividad, una estrategia es el mantenimiento preventivo, al implementarlo, obtenemos indicadores con los que nos podemos medir y mejorar, lo que nos permitirá fijar objetivos y cumplir con la rentabilidad que deseamos obtener (Guerra & Oca, 2019).

En América Latina, la mayoría de empresas no toman en consideración la importancia que tiene el realizar mantenimiento a los equipos, lo toman como un gasto, y lo dejan de lado, algunos estudios indican que alrededor del 60% de las empresas no tiene un plan de mantenimiento, esto se debe a la falta de investigación y desarrollo en estas áreas (Crespo, Pérez, Padrón, García, & Cabrera, 2019).

En otros panoramas, por mencionar a Japón y Estados Unidos, estos países prestan mucha importancia a la investigación y desarrollo en distintos campos, por su parte establecieron, alrededor de los años 70, la metodología del mantenimiento productivo total (TPM) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) (SAE, 2009), respectivamente, que actualmente son las que más se utilizan, con el fin de maximizar la confiabilidad y reducir los costos. (Díaz, Castillo, & Villar, 2017).

El no tener un plan de mantenimiento, lleva a paradas imprevistas en los equipos, esto también compromete la seguridad de las instalaciones y las personas, ya que, al momento de producirse una falla, puede haber una persona cerca al equipo, y ocurrir un accidente (Afonso, 2020).

Decidir implementar algún plan de mantenimiento, impacta positivamente en la vida útil de los equipos, es decir en su confiabilidad y disponibilidad (Consuegra, y otros, 2017).

La disponibilidad y confiabilidad son indicadores que impactan directamente en el tiempo de operación de los equipos, lo que se traduce en la productividad de la empresa, si incrementamos la productividad y optimizamos los costos de mantenimiento de los equipos, incrementaremos la rentabilidad que tendrá la empresa, lo que beneficiará a los dueños y a los trabajadores (Díaz, y otros, 2016).

En el caso de Perú (y varios países de América Latina), un porcentaje de la utilidad que logra la empresa es repartida entre todo su personal, además, en el caso de los impuestos que paga la empresa, son utilizados para beneficiar a las comunidades que la rodean.

Algunas empresas fallan al establecer el plan de mantenimiento, debido a la poca experiencia y falta de conocimiento del personal, el compromiso de los demás departamentos y directivos de la empresa, pero esto no debe ser un impedimento, pues, al realizarlo, también se mejora la competitividad de la empresa (Díaz & De la Paz, 2016).

Debido a lo mencionado anteriormente, esta investigación se centra en determinar el efecto que tiene, un plan de mantenimiento RCM, en la disponibilidad de una flota de tractores, que se utilizan en una empresa minera, esta flota está conformada de 12 tractores, se seleccionó este escenario, ya que, estos equipos en minería, se utilizan para el movimiento de tierra, la distribución del desmonte, la elaboración de caminos, el mantenimiento de vías de acceso y construcción de diques.

Por esto, los tractores llegan a tener una elevada utilización, lo que ocasiona que tengan una tasa elevada de fallos y un mayor desgaste en sus componentes, tal es el caso de la carrilería (rodillos, cadenas, etc.), gets (ripper, bulldozer, etc.) y componentes mayores (motor, transmisión, convertidor, etc.), por el esfuerzo que realizan en estas tareas. Y en algunos casos los tiempos de atención de repuestos y componentes tienen

un tiempo de entrega prolongado (60 a 90 días). Lo que lleva a evitar que, los tractores tengan fallas imprevistas en componentes críticos y buscar mejorar su disponibilidad.

Por lo expuesto, se establece la siguiente **formulación del problema**:
¿Cómo incrementar la disponibilidad en los tractores en la flota de una empresa minera?

Para analizar este problema, se propone el presente estudio, que se justifica desde el punto de vista económico, porque al establecer un plan de mantenimiento RCM para la flota de tractores, se determinará la criticidad en los componentes, tareas de mantenimiento, la planificación de actividades, su frecuencia de ejecución, la verificación de su cumplimiento y corroboración de sus resultados con el uso de indicadores. De este modo se llevará un control de la gestión de mantenimiento, lo que permitirá optimizar los tiempos de las tareas de mantenimiento y así se logrará incrementar la disponibilidad en los equipos. También se justifica social y ambientalmente, porque esta flota de equipos, se encarga de la construcción de la presa de relaves, que sirve como contenedor de las descargas que salen de las concentradoras de mineral, por eso es de vital importancia que los equipos tengan disponibilidad elevada. Ya que, al no cumplir con la proyección de construcción del dique, cuando se realizó una auditoría por entidades como la OEFA, pueden ser multadas, por el riesgo ambiental que representa que haya fugas de relaves, además se debe considerar, que las comunidades aledañas se verían muy afectadas si es que la situación de derrame de relaves llega a ocurrir.

En tal sentido, de acuerdo a lo consignado anteriormente, **se formula la siguiente hipótesis:** La implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, incrementará la disponibilidad de los tractores en la flota de equipos.

El presente estudio también plantea el siguiente **objetivo general:** Proponer un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para incrementar la disponibilidad de una flota de equipos en una empresa minera.

Para poder lograr el objetivo general, se plantea los siguientes **objetivos específicos:** i) Evaluar las condiciones actuales de la disponibilidad en la flota de equipos, mediante el análisis de los datos históricos. ii) Identificar y seleccionar los equipos críticos en la flota de equipos. iii) Conocer las principales fallas que se presentan en los equipos de la flota. iv) Aplicar el análisis de modos de efectos y fallas (AMEF) en principales sistemas de los equipos críticos. v) Diseñar un plan de mantenimiento basado en la identificación de las fallas más frecuentes, de los equipos críticos. vi) Validar estadísticamente los efectos que tiene el plan de mantenimiento en la disponibilidad de los tractores. vii) Verificar la viabilidad económica del plan de mantenimiento.

II. MARCO TEÓRICO

Luego de exponer la realidad problemática del estudio, y a fin de consolidar el desarrollo de esta investigación, se eligieron algunos trabajos referenciales y de carácter profesional que avalen el tema:

En la recolección de información sobre estudios que aplicaron un plan de mantenimiento con el fin de mejorar la disponibilidad y confiabilidad, se encontró a (Caceres & León, 2017), quienes implementaron un plan de mantenimiento para una flota de 18 camiones mineros Caterpillar 793F, con el fin de incrementar el tiempo que operan los camiones, y así mantener la continuidad del proceso. Para su estudio, determinaron los siguientes indicadores de mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad, TPEF, TPPR; y aplicando el MCC, lograron mejorar la Confiabilidad de la Flota de Volquetes 793F en un 13.01%, la disponibilidad en 4.82%, TPPR en 8.18% y TPEF incrementó en 34.98%.

Continuando con la búsqueda de información sobre el impacto que tiene el desarrollar un plan para el mantenimiento en la rentabilidad de las empresas, se encontró a (Muñoz & Carrillo, 2015), quienes implementaron un plan de mantenimiento, para mejorar la disponibilidad en las maquinarias de la empresa RECOLSA S.A, enfocándose, no solo en la disponibilidad y confiabilidad, sino también en la calidad del servicio, capacitaciones al personal y apoyo conjunto de las demás áreas de la organización, mejorando así la confiabilidad y reduciendo costos por mantenimiento, obteniendo un aumento en sus indicadores, 16.5% para la Disponibilidad y 16.89% para la confiabilidad, obtuvieron estos datos durante un periodo de 39104 horas, corroborando que al implementar un plan de mantenimiento, se logra incrementar la rentabilidad, enfocándose en el cuidado de los equipos.

Siguiendo con la búsqueda literaria, se encontró a (Goncalves & Trabasso, 2018), su estudio establece un método para optimizar las frecuencias de las actividades de mantenimiento preventivo. El método fue aplicado en una empresa de fabricación de aeronaves, se tuvo un intervalo de tareas de la flota de aeronaves en operación de 6.000 horas, y luego de aplicar el

procedimiento de definición de intervalo, fue posible aprobar, para la flota en desarrollo, el intervalo de 12.000 horas. Esto representa un aumento del 100% en el intervalo de la tarea. El mayor beneficio de la aplicación del método presentado es iniciar la operación de la flota de aeronaves con mantenimiento programado con tareas a intervalos que disminuyen el número de intervenciones no programadas para los operadores. Por lo tanto, el beneficio final de los operadores es la disminución de los costos de mantenimiento inesperados.

En otro estudio que se plantea un modelo para mejorar la gestión en mantenimiento, se ubicó a (Correa & Dias, 2016), en su estudio mencionan que el costo de mantenimiento es un factor decisivo en la viabilidad operativa de un equipo o proceso. En el contexto industrial, el costo de mantenimiento representa, en promedio, el 20% de los costos fijos de los productos. Por esto se plantea establecer un modelo para optimizar la periodicidad en los planes de mantenimiento preventivo de activos industriales, mediante el estudio de la vida útil de los sistemas justificada por uso, tiempo, condición y costes. El modelado matemático utilizado se implementó computacionalmente. El modelo plantea la integración del RCM, en línea con los resultados económicos del negocio, para obtener una mayor confiabilidad en los equipos.

Buscando estudios que contemplen la relación que tiene el área de mantenimiento en las empresas, se ubicó a (Fernandez, 2018), quien determina que el presupuesto que se utiliza en mantenimiento es una gran proporción del costo general de producción y que en las industrias, el desarrollo de un plan de mantenimiento es fundamental para las empresas, debido a que cuando se produce una falla, no solo es responsabilidad del área de mantenimiento, sino que también involucra a toda la organización, debido a la gestión integral de recursos. La empresa es la encargada de predecir y evitar que se produzcan fallas, con el fin de asegurar la confiabilidad, usabilidad y disponibilidad, sin dejar de lado la seguridad y calidad. Lo que demuestra que, para optimizar los costos de mantenimiento en una empresa, no solo basta con implementar un plan de mantenimiento,

si no, también, del apoyo en conjunto de las áreas de la empresa y personal capacitado.

Indagando sobre la confiabilidad en mantenimiento, se encontró a (Gasca, Camargo, & Medina, 2017), que proponen un instrumento para determinar la confiabilidad que tienen los equipos críticos, buscando mostrar información precisa para tomar las decisiones en el mantenimiento de los equipos. El instrumento organiza los equipos de acuerdo a su criticidad en el proceso, esto se establece teniendo en cuenta lo siguiente: el impacto en su producción; la salud y seguridad operador, teniendo en cuenta la frecuencia y tiempo de reparación de las fallas. Los datos son analizados y luego se modela la confiabilidad que alcanzan los equipos con el uso de métodos de distribución como Weibull, para determinar el tiempo medio entre fallas. Aplicaron el estudio en una empresa recicladora de plástico, determinando a la extrusora como equipo crítico. Lograron determinar el tiempo medio de fallas de manera dinámica y automática, al utilizar el historial de las fallas. Al desarrollar esta interfaz se incrementó la usabilidad del sistema porque recopila en una misma plataforma, todos los registros de los datos. Con su investigación corroboraron que, al elaborar los catálogos de fallas a partir de un AMEF, basándose en la norma ISO 14224/OREDA (ISO, 2016) (OREDA Participants, 2002), y estandarizando los reportes de sistema, es posible realizar un análisis estadístico, con el cual es posible medir la confiabilidad de los equipos de una manera didáctica, y así poder reconocer a qué equipos se les puede dar prioridad para optimizar las tareas de mantenimiento, enfocado en el aumento de la confiabilidad.

Continuando con la búsqueda literaria se ubicó (Diaz, Villar, Rodriguez, Castillo, & Cabrera, 2018), que recopiló 58 referencias relacionadas a mejorar la confiabilidad del mantenimiento, con la intención de determinar si hay algún método exacto de lograr mejorar la confiabilidad, se analizó cada referencia, encontrando que, los temas más tratados son sobre la disponibilidad y confiabilidad en los equipos. El estudio determinó que existe un modelo matemático que pueda abarcar los diferentes elementos

que influyen en la confiabilidad operacional, con el fin de soporte para la toma de decisiones. Lo que indica, que no hay ninguna ecuación general, cada equipo y ambiente es distinto. Cada caso debe analizarse a detalle para poder determinar la estrategia más adecuada de mantenimiento.

Luego de mostrar algunos antecedentes con aporte significativo para esta investigación, es conveniente establecer las **definiciones** que apoyarán en reforzar la formulación, desarrollo y metodología del presente estudio.

Por este motivo, la primera definición que se aborda es relacionada al mantenimiento:

El mantenimiento, es la agrupación de actividades que se ejecutan para mantener las funcionalidades e incrementar la vida útil que tienen los equipos (Caceres & León, 2017). En mantenimiento, existen distintos tipos de mantenimiento:

El mantenimiento correctivo, conocido también como funcionar hasta la falla o Run to Failure (RTF), establece que las tareas que se desarrollen en mantenimiento, vayan acorde a las fallas que se generan en los equipos, lo que se denomina un mantenimiento reactivo, es decir, aplicar las tareas de mantenimiento de manera no programada, esperando a que el equipo falle (Erribari & Salazar, 2019).

El Mantenimiento Preventivo, se debe a la programación y planificación de actividades, a determinadas frecuencias, con el fin de mantener la funcionalidad de los activos, con la filosofía de evitar que se presenten fallas en los activos (Cavassin, Silva, Soares, Magalhaes, & Paccola, 2020). También se le puede considerar como mantenimiento correctivo programado (Chata, 2021)

El Mantenimiento Predictivo, va más allá del mantenimiento preventivo, y utiliza herramientas de monitoreo y análisis para poder predecir cuándo un activo puede fallar, estableciendo una planificación y programación óptima de las actividades de mantenimiento (Huaranca & Calatayud, 2021).

Para poder medir y optimizar la gestión de mantenimiento, es necesario tener Indicadores de Mantenimiento, a continuación, algunos de los más

utilizados (Duran, Rosero, Pavas, & Duarte, 2015).

Tiempo de operación: Es el tiempo que el equipo está en condiciones de operar (Hernández, 2021).

Tiempo de reparación: Es el tiempo que está detenido un activo cualquier intervención, ya sea por mantenimiento correctivo, fallas imprevistas, mantenimiento preventivo o mantenimiento predictivo.

Falla: interrupción en la función normal de un equipo (Tasilla, 2016).

Tiempo Promedio entre falla (MTBF): Es el promedio de tiempo, en que el equipo está en operación, hasta que se presenta una falla (Araujo, 2016).

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo de Operación}}{\textit{Número de Fallas}} \dots\dots (I)$$

Tiempo Promedio para reparación (MTTR): Es el tiempo que transcurre en la reparación de un equipo (Araujo, 2016).

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de Reparación}}{\textit{Número de Fallas}} \dots\dots (II)$$

Disponibilidad: Es la probabilidad que tiene un equipo para que funcione de manera óptima al momento de ser requerido para operar, respetando las condiciones de operación (Tasilla, 2016).

$$\textit{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \dots\dots (III)$$

Confiabilidad: Es la medición de probabilidad para que un equipo funcione sin llegar a fallar, en un periodo determinado, respetado las condiciones de operación (Araujo, 2016).

$$\textit{Confiabilidad} = e^{-\left(\frac{t}{MTBF}\right)} \dots\dots (IV)$$

Estrategias de Mantenimiento: Se basan en el empleo de diferentes métodos, como el caso del mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo, CBM, TPM y RCM, con el fin de establecer las actividades y frecuencias que serán necesarias para aplicar las diferentes tareas de mantenimiento. También se suelen utilizar herramientas como el AMEF y ACR, como apoyo para la identificación de puntos críticos y sus posibles

soluciones (Araujo, 2016).

A continuación, se muestra un comparativo de las principales estrategias de mantenimiento que se utilizan en la actualidad, en la Tabla N° 1.

Resumen de Estrategias				
Detalle	CBM	TPM	RCM	A-RCM
Intención principal	Detectar falla	Cambio Organizacional	Prevenir falla	Prevenir falla
Fundamento de la implementación	Realizar monitoreo continuo	Planear para diferentes condiciones	Cubrir todos los posibles modos de falla	Mejoras significativas al inicio
Inicio de Implementación	Selección de parámetros, adquisición de equipos	Anuncio de la alta dirección, inicio de programa de entrenamiento	Conformación de equipos, capacitación	Equipos de montaje, recolección de historiales de falla
Soporte	Sección separada para monitorear y recomendar acciones	Creación de estructura de apoyo organizacional, políticas.	La implementación posterior a la capacitación puede comenzar de inmediato	Implementación en conjunto, personal debe ser especializado
Modificaciones importantes	La sección CBM se convierte en iniciadora de trabajos de mantenimiento	Mantenimiento autónomo por operadores	Generación del plan preventivo y/o predictivo basado en el resultado RCM	Generación del plan preventivo y/o predictivo basado en el resultado RCM
Tipos de Mantenimiento	Mantenimiento predictivo	Evaluación al operador Mantenimiento preventivo	Mantenimiento preventivo y predictivo, rediseño si no se puede aplicar ninguno	Mantenimiento preventivo solo donde no se pueda aplicar mantenimiento predictivo, cambios de diseño en caso no se pueda aplicar ninguno
Medición	Número de fallas sin aviso	Eficacia del equipo	Mean time between Failures (MTBF)	MTBF y Weibull

Tabla N° 1. Comparación estrategias de mantenimiento

Fuente: Comparación de estrategias de mantenimiento (Prabhakar & Raj, 2014)

Como se pudo evidenciar en la Tabla N° 1 la estrategia CBM se enfoca solo en el mantenimiento predictivo, lo que resultaría muy costoso. Luego, el TPM se centra en el cambio cultural, basándose en las políticas y cambios a nivel organizacional, lo que no influencia directamente en los indicadores de mantenimiento. El RCM, se enfoca en la prevención de fallas y la preservación de las funciones de los equipos, y el A-RCM, es una estrategia que se basa en el RCM, pero incluye el análisis estadístico

para la predicción de fallas. De esto, se pudo determinar la aplicación del RCM en el estudio.

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC ó RCM): Es la metodología que se utiliza con el fin de asegurar que los activos continúen cumpliendo con las funciones que tienen establecidas por sus usuarios, respetando su diseño y parámetros operacionales (Campos, Tolentino, Toledo, & Tolentino, 2019). Por lo que tiene un enfoque práctico y estructurado, con el fin de establecer una estrategia de mantenimiento adecuada para cada sistema que es analizado, teniendo en cuenta el uso de indicadores (Zegarra, 2016) y normativas vigentes (Gondres, Lajes, & Del Castillo, 2016). Su principal objetivo es establecer las actividades necesarias para garantizar que equipos cumplan sus funciones al nivel deseado, manteniendo las condiciones de operación (Araujo, 2016).

Metodología del MCC: Su principal objetivo es asegurar que los sistemas puedan cumplir con sus funciones (Yang, Qinqyou, Jiajia, Yan, & Zhengwei, 2017), antes que la función del equipo (Castro, 2017). Esta metodología se puede resumir en 6 pasos (Vasquez, 2019):

1. Reconocer los sistemas en los equipos y establecer sus principales funciones.
2. Reconocer los modos de falla que puedan presentar en los sistemas y puedan dejar de cumplir sus funciones.
3. Priorizar los requerimientos funcionales de los sistemas, realizando a los equipos un análisis de criticidad.
4. Establecer el nivel de criticidad en los equipos, teniendo en cuenta los efectos que puedan ocasionar las fallas funcionales.
5. Aplicar algunos instrumentos adicionales para determinar la estrategia de mantenimiento.
6. Seleccionar las tareas de mantenimiento necesarias para asegurar que los sistemas cumplan sus funciones.

Preguntas del MCC: Al basarse en esta metodología se deben cumplir con siete preguntas claves (SAE, 2011) (Ayala & Jimenez, 2016):

-Parámetros de operación: ¿Qué función realiza el equipo?

-Fallas funcionales: ¿Cuál es la falla funcional?

-Modos de fallas: ¿Cuál es el modo de falla?

-Efectos de fallas: ¿Cuál es el impacto de la falla?

-Consecuencias de la falla: ¿Cómo afecta la falla?

Durante el desarrollo se pueden utilizar algunas herramientas como:

Análisis de criticidad: Su objetivo principal es jerarquizar los equipos de un proceso, con el fin de facilitar la toma de decisiones y que elementos que puedan ser controlados. Para cuantificar la criticidad, se emplea la siguiente ecuación matemática (Castro, 2017)

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia de falla} \times \text{consecuencia} \dots \dots \dots (V)$$

Para este análisis se pueden tener las siguientes consideraciones (Araujo, 2016):

1. Elaborar un inventario de los activos que participarán en el análisis.
2. Realizar el análisis del panorama inicial, para verificar el estado de los activos.
3. Finalmente, se pondera y clasifica los activos de acuerdo al grado de criticidad, puede utilizarse alguna matriz de criticidad.

Diagrama de Pareto: Tiene la finalidad de identificar cuáles son los principales problemas, a los que se debe analizar para encontrar soluciones (Benítez, Díaz, Cabrera, García, & Maura, 2016). También se le conoce como el Principio de Pareto, pues, se utiliza para mostrar las cuestiones de acuerdo a su grado de significancia, enfocándose en los problemas que tienen un mayor impacto. (Caceres & León, 2017).

Análisis causa raíz: Este instrumento se usa para analizar problemas, con

el fin de identificar las causas raíz, para poder dar soluciones. En el MCC, este análisis permite especificar los factores principales de los problemas, para implementar los controles adecuados para evitar que ocurran (Araujo, 2016).

Análisis de modo y efecto de la falla (AMEF o FMEA): Se utiliza para garantizar la identificación los posibles modos de falla que se pueden presentar en un equipo (Ford Motor Company, 2011). El AMEF pretende reconocer las causas, la posibilidad de acontecimiento y el efecto que tiene una falla, lo que permite proponer acciones para evitar que las fallas se materialicen e impacten en la disponibilidad de los equipos.

Los principales objetivos del del AMEF son:

1. Reconocer y ponderar los modos de fallas potenciales.
2. Identificar los efectos de las fallas potenciales.
3. Establecer acciones para reducir o eliminar la probabilidad de ocurrencia de la falla.
4. Ponderar la confiabilidad de cada sistema
5. Documentar cada actividad el proceso.

Resultado del análisis MCC: El resultado del análisis debe ser observable y medible, estableciendo una lista de tareas de los mantenimientos a realizar, con el fin de incrementar la disponibilidad, confiabilidad y rendimiento de los activos (Herrera, Rodriguez, & Martinez, 2018) (Vishnu & Regikumar, 2016). De este modo, esta metodología permite obtener resultados exitosos, lo cual permite implementar los requisitos que necesitan los diferentes sistemas de acuerdo a sus parámetros de operacion (Tasilla, 2016).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es **aplicada**, debido a que se basa en dar solución a una problemática identificada, mediante el uso de los conocimientos del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para mejorar la disponibilidad de los equipos.

El diseño de la investigación es **pre-experimental**, ya que, este trabajo se aplicó en parte de la flota de tractores de una empresa minera, con el fin de verificar como impacta en la disponibilidad de los equipos, la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, modificando ligeramente la variable independiente.

3.2. Variables y operacionalización

Para la presente investigación se determinaron las siguientes variables.

Variable Independiente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

Variable Dependiente: Disponibilidad

La matriz de operacionalización se encuentra en el Anexo 01.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población de estudio estuvo constituida por la flota de tractores modelos D8 y D9, de Marca Caterpillar.

La muestra que se tomó fue de 12 tractores de orugas marca Caterpillar, de los cuales, 8 son modelo D8 y 4 son modelo D9, estos equipos se utilizan en la construcción de la presa de relaves, en una empresa minera.

El muestreo no probabilístico fue por conveniencia.

Los equipos seleccionados para el estudio se detallan en el Anexo 02.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de información se utilizó el **Análisis documental**, para recopilar y analizar la información de los historiales de falla de los equipos, con el fin de generar una base de datos mediante hojas de cálculo.

Durante el análisis de los datos recolectados, se aplicó el cálculo de la **Disponibilidad**, teniendo utilizando los instrumentos MTBF y MTTR.

Luego, para establecer las tareas de mantenimiento y las frecuencias de ejecución, se utilizaron **plantillas y formatos** para el Registro de los sistemas de los equipos, con el fin de analizar los modos y efectos de falla.

La tabla resumen de Técnicas e Instrumentos de recolección de datos, se muestran en el Anexo 03.

3.5. Procedimientos

Para el desarrollo de la investigación, en primera instancia, se realizó el **Análisis del Historial de Fallas**, se recopiló información acerca del historial de fallas de la flota de equipos, comprendida en los años 2019 y 2020, con el fin de analizar la situación actual de los equipos, en base al cálculo de los indicadores MTBF y MTTR, con esto se obtuvo la **Disponibilidad** de cada equipo.

El siguiente paso en la investigación fue, **determinar los Equipos Críticos**, teniendo en cuenta los valores de disponibilidad en cada equipo.

De los equipos seleccionados, también se **identificó las fallas más recurrentes**, para tener esta información disponible al momento de realizar el análisis AMEF.

Luego de analizar la información recolectada y seleccionar los equipos críticos, se aplicó el **Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)**, como parte del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, esto se desarrolló, teniendo en cuenta los sistemas principales de cada equipo, con lo que se establecieron las tareas de mantenimiento y las frecuencias

de ejecución, todo esto, con el fin de incrementar la disponibilidad actual de los equipos.

Luego de determinar las tareas de mantenimiento y las frecuencias de ejecución, se procedió a establecer el **Plan de Mantenimiento** que tendrían los equipos del estudio.

Finalmente, se hizo seguimiento para verificar el impacto que tuvo el plan de mantenimiento propuesto en la disponibilidad de los equipos de la flota en la empresa minera.

3.6. Método de análisis de datos

Con el fin de determinar el efecto del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en la disponibilidad de los tractores. Para el registro y análisis de datos durante esta investigación, se utilizaron hojas de datos y se realizaron los cálculos necesarios para obtener los valores del MTBF y MTTR de cada equipo, estos valores son fundamentales, para determinar la Disponibilidad, lo que nos sirve de base para el desarrollo de la investigación.

3.7. Aspectos éticos

Se mantendrá en reserva la información que pueda causar un conflicto de intereses dentro de la investigación, por esto no se menciona el nombre de la empresa y solo se indica el rubro al que pertenece; para poder utilizar la información que sea brindada, se tendrá en cuenta el consentimiento de los facilitadores. Se respetará los derechos de autor de los textos de cualquier publicación que sea utilizada como fuente de información, citándolos dentro del informe del proyecto.

IV. RESULTADOS

4.1. Evaluación de la disponibilidad de la flota de tractores

4.1.1 Listado de equipos del estudio

Como punto de partida para elaborar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM), fue necesario establecer un base de datos, para esto, se identificó a los equipos que conformaban la flota pesada y auxiliar en la construcción de la presa de relaves de la empresa minera.

Después de realizar el listado de los equipos de toda la flota, se procedió a seleccionar los equipos necesarios para el estudio, siendo 12 tractores de orugas marca Caterpillar, distribuidos de la siguiente manera: 8 tractores D8T y 4 tractores D9T.

Se eligieron los tractores, debido a la importancia que tienen durante la construcción de la presa de relaves, contribuyendo en el crecimiento de los diques principal y lateral. Por este motivo, se requiere que los tractores mantengan una disponibilidad de 90%, para poder cumplir con los planes de construcción de los diques, y evitar el posible daño ambiental que podría ocurrir al desbordarse el relave de la presa, afectando a las comunidades aledañas al proyecto.



Figura N° 1. Tractor D8T-1

Fuente: Autor

Componentes principales de un tractor de orugas Caterpillar.

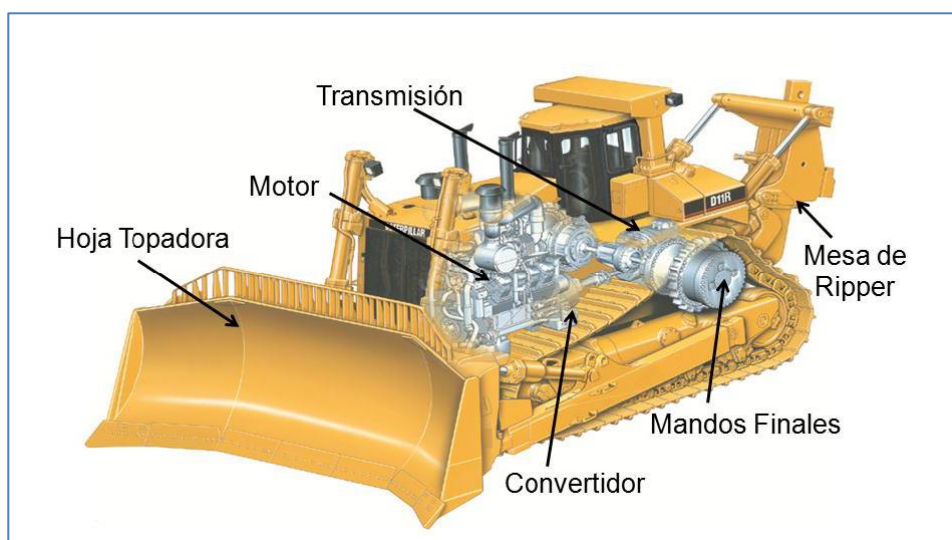


Figura N° 2. Partes principales del tractor

Fuente: Tractor System Operation Caterpillar

Con el fin de elaborar la lista de tractores del estudio, se realizó la tabla N° 02, para la cual, se consideró el tipo de equipo, el código interno, el modelo, año de fabricación, la marca y el inicio de la serie de cada uno.

ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CÓDIGO	AÑO FAB.
1	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-1	2012
2	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-2	2012
3	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-3	2014
4	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-4	2014
5	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-5	2016
6	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-6	2016
7	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-7	2017
8	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-8	2017
9	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-1	2017
10	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-2	2017
11	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-3	2017
12	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-4	2017

Tabla N° 2. Lista de tractores de la flota

Fuente: Autor

4.1.2 Ficha técnica de tractores

Se recopiló la ficha técnica de los tractores según fabricante.

Dimensiones			
Todas las dimensiones son aproximadas.			
	Estándar	No amortiguado	LGP
1 Entrevista	2.083 mm	2.083 mm	2.337 mm
2 Ancho del tractor:			
Ancho sin muñones (zapata estándar)	2.743 mm	2.743 mm	3.311 mm
Ancho sobre los muñones	3.057 mm	3.057 mm	3.656 mm
3 Altura			
Parte superior del tubo de escape	3.400 mm	3.400 mm	3.400 mm
Cabinas con estructura ROPS/FOPS	3.488 mm	3.488 mm	3.488 mm
4 Longitud de la cadena sobre el suelo	3.207 mm	3.258 mm	3.207 mm
5 Longitud total del tractor básico	4.647 mm	4.647 mm	4.647 mm
Con los siguientes accesorios, agregue:			
Desgarrador de vástago individual	1.519 mm	1.519 mm	N/D
Desgarrador de vástagos múltiples	1.613 mm	1.613 mm	N/D
Hoja SU	1.844 mm	1.844 mm	1.844 mm
Hoja U	2.241 mm	2.241 mm	N/D
Hoja A (no orientable)	2.027 mm	2.027 mm	N/D
Hoja (angulada a 25 grados)	3.068 mm	3.068 mm	N/D
Barra de tiro	406 mm	406 mm	406 mm
6 Altura de la garra	78 mm	78 mm	78 mm
7 Espacio libre sobre el suelo	613 mm	606 mm	613 mm
Altura de la barra de tiro (centro de la horquilla)	708 mm	701 mm	708 mm

Figura N° 3. Dimensiones tractor D8T

Fuente: Autor

Motor		Capacidades de llenado de servicio	
Modelo de motor	C15 ACERT Cat	Tanque de combustible	600 L
Emissiones	Cumple con las normas de emisiones MAR-1 de Brasil, equivalentes a las normas de emisiones Tier 3 de la EPA de EE.UU./Stage IIIA de la UE u, opcionalmente, a Tier 2/Stage II, según se requiera en cada región	Sistema de enfriamiento	62 L
		Cárter del motor*	38 L
		Tren de fuerza	155 L
		Mandos finales (cada uno)	12.5 L
		Bastidores de rodillos (cada uno)	65 L
		Compartimiento del eje pivote	40 L
		* Con filtros de aceite.	
Potencia del motor: 1.600 rpm		Pesos	
SAE J1995 (bruta)	273 kW 366 hp	Peso en orden de trabajo	
ISO 14396	269 kW 361 hp	Estándar	38.351 kg
ISO 14396 (DIN)	365 hp	LGP	36.763 kg
Potencia del motor: 1.900 rpm		Manipulador de basura	38.265 kg
ISO 9249/SAE J1349	242 kW 325 hp	Manipulador de basura LGP	40.483 kg
ISO 9249/SAE J1349 (DIN)	328 hp	Peso de embarque	
Calibre	137 mm	Estándar	29.553 kg
Carrera	172 mm	LGP	30.506 kg
Cilindrada	15,2 L	Manipulador de basura	32.227 kg
		Manipulador de basura LGP	34.269 kg
• ISO 9249 es la potencia disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, silenciador y alternador.		• Peso en orden de trabajo; estándar: incluye controles hidráulicos, hoja, cilindro de inclinación, barra de tiro, refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno, ROPS, cabina FOPS, hoja semiumiversal, zapatas para servicio moderado de 610 mm y operador.	
• No es necesario reducir la potencia hasta una altitud de 3.658 m. Cuando se excede esta altitud, se produce una reducción automática de la potencia.		• Peso en orden de trabajo; LGP: incluye controles hidráulicos, hoja, cilindro de inclinación, barra de tiro, refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno, ROPS, cabina FOPS, hoja semiumiversal, zapatas para servicio moderado de 965 mm y operador.	
		• Peso en orden de trabajo; desperdicios: incluye controles hidráulicos, cilindro de inclinación, caja deflectora, refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno, ROPS, cabina FOPS, hoja semiumiversal para desperdicios, zapatas trapezoidales para servicio moderado de 610 mm para versión estándar/zapatas trapezoidales para servicio moderado de 965 mm para versión LGP y operador.	
		• El peso de embarque del manipulador de basura incluye refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno en un 20 %, ROPS, cabina FOPS, caja deflectora. Para el manipulador de basura, incluye zapatas para servicio moderado de 610 mm, mientras que para el manipulador de basura LGP incluye zapatas para servicio moderado de 965 mm.	

Figura N° 4. Ficha técnica tractor D8T

Fuente: Autor

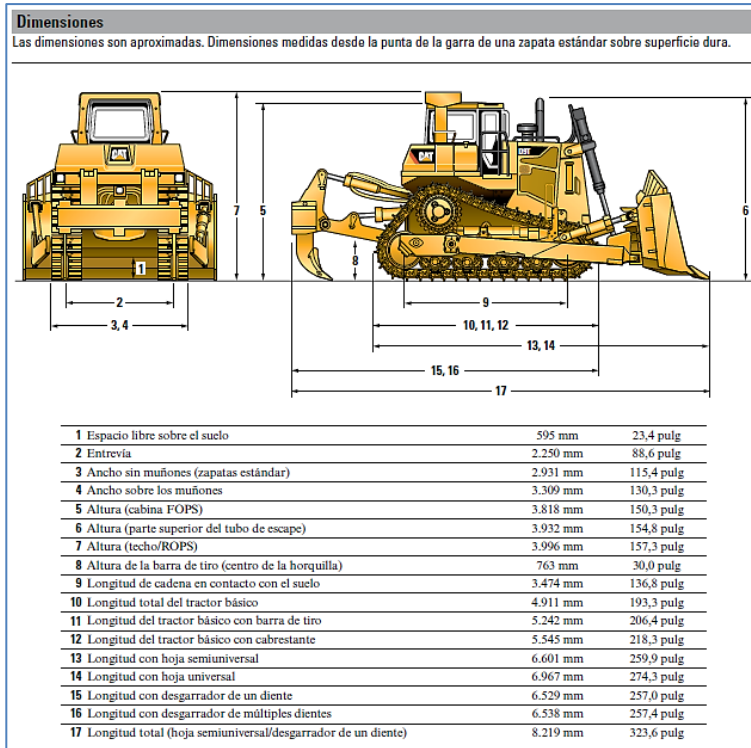


Figura N° 5. Dimensiones tractor D9T

Fuente: Autor

Motor	Pesos	Controles hidráulicos
Modelo del motor: Cat® C18 ACERT™	Peso en orden de trabajo: 50.098 kg / 110.447 lb	Tipo de bomba: Bomba tipo pistón engranada desde el volante
Potencia bruta: 334 kW / 448 hp	Peso de embarque: 37.792 kg / 83.317 lb	Rendimiento de la bomba (dirección): 387 L/min / 102 gal EE.UU./min
Potencia neta	<ul style="list-style-type: none"> Peso en orden de trabajo: incluye controles hidráulicos, cilindro de inclinación de la hoja, refrigerante, lubricantes, tanque de combustible lleno, ROPS, cabina FOPS, hoja SU, desgarrador de vástago individual, zapatas ES de 610 mm (24 pulg) y operador. Peso de embarque: chasis base de la máquina con cabina, eje pivote, bastidores de rodillos, cadena y ROPS. 	Rendimiento de la bomba (implemento): 226 L/min / 60 gal EE.UU./min
ISO 9249: 306 kW / 410 hp	Tren de rodaje	Flujo al extremo de varilla del cilindro de inclinación: 140 L/min / 37 gal EE.UU./min
ISO 14396: 329 kW / 441 hp	Tipo de zapata: Servicio extremo	Flujo al extremo de cabeza del cilindro de inclinación: 188 L/min / 50 gal EE.UU./min
SAE J1349: 306 kW / 410 hp	Ancho de la zapata: 610 mm / 24 pulg	Ajuste de la válvula de alivio de la hoja topadora: 26.200 kPa / 3.800 lb/pulg²
UE 80/1269: 306 kW / 410 hp	Zapatas/Costado: 43	Ajuste de la válvula de alivio del cilindro de inclinación: 19.300 kPa / 2.800 lb/pulg²
DIN 70020: 428 PS	Altura de la garra: 84 mm / 3,3 pulg	Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (levantamiento): 26.200 kPa / 3.800 lb/pulg²
Calibre: 145 mm / 5,7"	Paso: 240 mm / 9,44 pulg	Ajuste de la válvula de alivio del desgarrador (pato): 26.200 kPa / 3.800 lb/pulg²
Carrera: 183 mm / 7,2"	Espacio libre sobre el suelo: 596 mm / 23,5 pulg	Dirección: 40.500 kPa / 5.875 lb/pulg²
Cilindrada: 18,1 L / 1.106 pulg³	Entrevía: 2.250 mm / 89 pulg	Capacidad del tanque: 89 L / 23,5 gal EE.UU.
<ul style="list-style-type: none"> Las clasificaciones del motor aplican a 1.833 rpm. La potencia neta anunciada es la potencia disponible en el volante cuando el motor está equipado con un ventilador a velocidad máxima, filtro de aire, silenciador y alternador. No se necesita la reducción de potencia hasta los 2.286 m (7.500') de altitud. Se dispone de un accesorio de gran altitud para alturas de más de 2.286 m (7.500'). 	Longitud de cadena en contacto con el suelo: 3.474 mm / 11 pies 5 pulg	<ul style="list-style-type: none"> Rendimiento de la bomba de dirección medido a 2.239 rpm y 30.000 kPa (4.351 lb/pulg²). Rendimiento de la bomba del implemento medido a 1.800 rpm y 20.000 kPa (2.900 lb/pulg²). La válvula piloto electrohidráulica facilita la operación de los controles del desgarrador y de la hoja topadora. Los sistemas hidráulicos estándar incluyen cuatro válvulas. El sistema completo consta de una bomba, tanque con filtro, enfriador de aceite, válvulas, tubería y palancas de control.
Capacidades de llenado de servicio	Área de contacto sobre el suelo: 4,24 m² / 6,569 pulg²	Transmisión
Tanque de combustible: 889 L / 235 gal EE.UU.	Rodillos inferiores/lado: 8	Avance 1: 3,9 km/h / 2,4 mph
Sistema de enfriamiento: 101 L / 26,7 gal EE.UU.	Cantidad de rodillos superiores: 1 por lado (optativo)	Avance 2: 6,8 km/h / 4,2 mph
Cárter del motor*: 34 L / 9 gal EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Cadena con sistema de retención positiva del pasador 	Avance 3: 11,7 km/h / 7,3 mph
Tren de fuerza: 164 L / 43,4 gal EE.UU.		Retrosceso 1: 4,7 km/h / 2,9 mph
Mandos finales (cada uno): 15 L / 3,9 gal EE.UU.		Retrosceso 2: 8,4 km/h / 5,2 mph
Bastidores de rodillos 45 L / 11,7 gal EE.UU. (cada uno)		Retrosceso 3: 14,3 km/h / 8,9 mph
Compartimiento del eje pivote: 30 L / 7,9 gal EE.UU.		Avance 1: tracción en la barra de tiro (1.000): 716,5 N / 161 lb-pie
Acéite de tanque hidráulico (solo): 89 L / 23,5 gal EE.UU.		Avance 2: tracción en la barra de tiro (1.000): 400,5 N / 90 lb-pie
*Con filtros de aceite.		Avance 3: tracción en la barra de tiro (1.000): 222,5 N / 50 lb-pie

Figura N° 6. Ficha técnica tractor D9T

Fuente: Autor

Para establecer la base de datos, fue necesario codificar los sistemas que están comprendidos en los tractores, mediante esta catalogación de sistemas se realizó el análisis de los datos.

CODIGO SISTEMA	SISTEMA
S-0100	SIST._MOTOR
S-0200	SIST._ELECTRICO_ELECTRONICO
S-0300	SIST._HIDRAULICO
S-0400	SIST._TREN_DE_FUERZA
S-0500	SIST._FRENOS
S-0600	SIST._DIRECCION
S-0700	SIST._SUSPENSION
S-0800	SIST._IMPLEMENTOS
S-0900	SIST._HERRAMIENTAS
S-1000	SIST._CABINA
S-1100	SIST._CHASIS_Y_ESTRUCTURA
S-1200	SIST._TREN_DE_RODAJE
S-1300	SIST._MAQUINA_BASICA

Tabla N° 3. Sistemas de los tractores

Fuente: Autor

4.1.3 Establecer la base de datos de mantenimiento

Luego de la identificación de equipos, se procedió a revisar el historial de los mantenimientos, ordenes de trabajo y reportes de mantenimiento, con el fin de extraer los datos necesarios para establecer la base de información, Tabla N° 04, que nos permita identificar el equipo, la fecha y el tipo de intervención, la duración de la parada, el tipo de falla que se presentó de acuerdo al sistema, subsistema y componente, y demás información necesaria para analizar el estado de los equipos de la flota.

En este caso se consideró el periodo 04/2018 al 12/2019, para realizar el análisis de los datos históricos.

OT	AÑO	MES	FECHA	TURNO	EQUIPO	HORA DE PARADA	HORA DE ENTREGA	HORAS INOP.	HOROMETRO PARADA	TIPO DE PARADA	TIPO DE INTERVENCIÓN	SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE	FALLA FUNCIONAL/REPORTE OPERADOR
1937	2018	ABRIL	21/04/2018	D	D8T-1	03:20:00 p.m.	04:15:00 p.m.	0.92	39984.5	NP	MC	SIST._ELECTRICO_EL ELECTRONICO	CARGA Y ARRANQUE	BATERIAS Y CABLES	EQUIPO NO ARRANCA
1938	2018	ABRIL	21/04/2018	D	D8T-1	11:00:00 a.m.	12:00:00 p.m.	1.00	39981.5	NP	MC	SIST._ELECTRICO_EL ELECTRONICO	CARGA Y ARRANQUE	BATERIAS Y CABLES	EQUIPO NO ARRANCA
1948	2018	ABRIL	21/04/2018	N	D8T-2	08:00:00 p.m.	09:00:00 p.m.	1.00	1799.3	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE	FUGA DE ACEITEPOR CORAZA DE TRANSMISION
1944	2018	ABRIL	21/04/2018	D	D8T-3	07:00:00 a.m.	07:50:00 a.m.	0.83	21432.6	P	MP	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	VENTILADOR DE CABINA	VENTILADOR DE CABINA INOPERATIVO
1947	2018	ABRIL	21/04/2018	D	D8T-6	07:00:00 a.m.	11:30:00 a.m.	4.50	5380	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL	MANTENIMIENOTOP REVENTIVO
1956	2018	ABRIL	22/04/2018	N	D8T-2	02:30:00 a.m.	03:05:00 a.m.	0.58	1803	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE	ALARMA DE TEMPERATURA ALTA DE TRNASMISION
-	2018	ABRIL	22/04/2018	D	D8T-6	04:00:00 p.m.	06:30:00 p.m.	2.50	-	NP	MC	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	SISTEMA AFEX	PERNOS DE BASE SISTEMA AFEX FRACTURADOS
1954	2018	ABRIL	22/04/2018	N	D9T-1	12:01:00 a.m.	12:01:00 a.m.	24.00	41128	P	MP	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	MOTOR DE DIRECCION	VIDRIO FRONTAL DE CABINA OPERADOR TRIZADO
1957	2018	ABRIL	23/04/2018	D	D8T-2	07:00:00 a.m.	04:30:00 p.m.	9.50	1822	NP	MC	SIST._HIDRAULICO	MOTORES HIDRAULICOS	MOTOR DE DIRECCION	FUGA DE ACEITE DE TRANSMISION
-	2018	ABRIL	23/04/2018	D	D8T-3	04:30:00 p.m.	06:30:00 p.m.	2.00	21472	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL	MANTENIMIENOTOP REVENTIVO
1968	2018	ABRIL	24/04/2018	D	D8T-4	12:00:00 p.m.	01:30:00 p.m.	1.50	12836	NP	MC	SIST._MOTOR	ENFRIAMIENTO	GR. DE RADIADOR	ALTA TEMPERATURA REFRIGERANTE MOTOR

Tabla N° 4. Base de datos de mantenimientos en los tractores

Fuente: Autor, más detalles de la tabla en anexo 04

4.1.4 Calcular la disponibilidad

De la base de datos que se estableció, se procede a determinar los valores necesarios para el cálculo de la disponibilidad, en este caso, que el proceso productivo es la construcción de una presa de relaves, por la importancia que tiene, debido al impacto ambiental y social que puede tener si es que llegara a colapsar el relave, se tiene establecida una meta de disponibilidad mínima de 90%, para realizar el cálculo necesitamos establecer los siguientes parámetros:

Tiempo de disponible para operación: Para este caso se considera el tiempo que el equipo está listo para operar, que serían las 24 horas del día, menos el tiempo de mantenimientos programados que tenga en ese día.

$$T.D.O. \text{ día} = (24 - T.M.P.) \dots\dots (VI)$$

Donde:

T.D.O. es el tiempo disponible para operar.

T.M.P. es el tiempo de mantenimiento programado.

Tiempo medio entre falla (MFBF o TMEF): Es el promedio de tiempo que el equipo está operando, hasta que ocurre una falla, es decir, el promedio de los intervalos de tiempo en que se producen las fallas.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Número de Fallas}} \dots\dots (I)$$

Donde:

MTBF (TMEF) es el tiempo medio entre falla.

Tiempo Promedio para reparación (MTTR o TMPR): Es el promedio de tiempo que se necesita para reparar una falla.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de Reparación}}{\text{Número de Fallas}} \dots\dots (II)$$

Donde:

MTTR (TMPR) es el tiempo medio para reparación.

Disponibilidad: Es la probabilidad que tiene un equipo para que funcione de manera óptima al momento de ser requerido para operar.

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \dots\dots (III)$$

De acuerdo a las fórmulas planteadas, se procedió a calcular la disponibilidad de cada tractor de la flota, durante el periodo 04/2018 al 12/2019 (Tabla N° 05).

EQUIP	AÑ	MES	TM	T DISF	T FALI	N° FALLA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDA
D8T-1	2018	ABRIL	0	720	5	3	238	2	99.32%
D8T-2	2018	ABRIL	0	720	18	5	140	4	97.51%
D8T-3	2018	ABRIL	4	716	3	2	357	2	99.58%
D8T-4	2018	ABRIL	0	720	44	4	169	11	93.82%
D8T-5	2018	ABRIL	39	681	1	1	680	1	99.85%
D8T-6	2018	ABRIL	5	716	5	3	237	2	99.35%
D9T-1	2018	ABRIL	24	696	0	0	0	0	100.00%
D9T-2	2018	ABRIL	90	630	0	1	630	0	99.92%
D9T-3	2018	ABRIL	1	719	0	0	0	0	100.00%
D9T-4	2018	ABRIL	1	720	0	0	0	0	100.00%
D8T-1	2018	MAYO	143	601	38	6	94	6	93.67%
D8T-2	2018	MAYO	54	690	63	6	105	10	90.91%
D8T-3	2018	MAYO	121	623	28	5	119	6	95.42%
D8T-4	2018	MAYO	53	691	22	5	134	4	96.80%
D8T-5	2018	MAYO	13	731	29	9	78	3	96.08%
D8T-6	2018	MAYO	22	722	62	5	132	12	91.34%
D8T-7	2018	MAYO	26	718	3	3	239	1	99.65%
D9T-1	2018	MAYO	288	456	0	0	0	0	100.00%
D9T-2	2018	MAYO	59	685	8	6	113	1	98.78%
D9T-3	2018	MAYO	10	734	55	5	136	11	92.50%
D9T-4	2018	MAYO	21	724	61	6	110	10	91.57%
D8T-1	2018	JUNIO	55	665	10	5	131	2	98.50%
D8T-2	2018	JUNIO	13	707	197	20	25	10	72.12%
D8T-3	2018	JUNIO	135	585	227	13	27	17	61.09%
D8T-4	2018	JUNIO	14	706	14	3	231	5	98.02%
D8T-5	2018	JUNIO	16	705	70	8	79	9	90.06%
D8T-6	2018	JUNIO	150	570	38	8	66	5	93.37%
D8T-7	2018	JUNIO	88	632	60	10	57	6	90.45%
D9T-1	2018	JUNIO	171	549	4	4	136	1	99.30%
D9T-2	2018	JUNIO	10	710	6	4	176	1	99.19%
D9T-3	2018	JUNIO	67	653	4	2	325	2	99.46%
D9T-4	2018	JUNIO	114	606	35	3	190	12	94.26%
D8T-1	2018	JULIO	8	736	22	10	71	2	96.96%
D8T-2	2018	JULIO	46	698	42	14	47	3	94.05%

Tabla N° 5. Cálculo de disponibilidad

4.2. Identificación de los equipos críticos

4.2.1 Establecer los criterios de criticidad

Para determinar la criticidad de los equipos, se tuvo en cuenta la función que realizan los tractores, siendo las más importantes:

- Perfilado de los diques y acumulación de material
- Mantenimiento de vías y accesos
- Acarreo de las canchas de relave

Las actividades más críticas son el perfilado de los diques y el acarreo de las canchas de relave. En este caso específico, los tractores rotan en las distintas actividades, debido a esto, se consideró la misma importancia operacional, teniendo en cuenta que el operar un tractor de orugas en relave implica muchos riesgos, como el encallamiento de los tractores, debido a que tienden a acarrear el relave húmedo.

Por lo expuesto, se determinó que la disponibilidad de los equipos sería el factor decisivo para determinar cuáles son los tractores más críticos. Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, se halló cuáles son los equipos que han tenido menor disponibilidad durante el periodo 04/2018 al 12/2019, teniendo en cuenta la meta de 90% en disponibilidad que se tiene para la flota de equipos (Tabla N° 06).

	2018	2019
Row Labels	Average of DISPONIBILIDAD	Average of DISPONIBILIDAD
D8T-1	87.83%	98.03%
D8T-2	92.78%	96.81%
D8T-3	76.15%	71.06%
D8T-4	92.01%	94.89%
D8T-5	76.12%	98.21%
D8T-6	92.06%	97.57%
D8T-7	97.58%	98.86%
D8T-8	98.81%	82.04%
D9T-1	91.99%	47.68%
D9T-2	85.15%	93.03%
D9T-3	96.51%	98.31%
D9T-4	92.47%	85.85%
Grand Total	89.54%	88.53%

Tabla N° 6. Disponibilidad de equipos 04/2018 al 12/2019

Fuente: Autor

4.2.2 Selección de los equipos críticos

Para identificar los tractores que tuvieron menor disponibilidad, se calculó el promedio de disponibilidad que tuvieron durante el periodo 04/2018 al 12/2019, mostrado en la Figura N° 01, de este análisis se seleccionaron los equipos D8T-3 y D9T-1, ya que son los tractores más afectados durante el periodo 04/2018 al 12/2019, promediando las disponibilidades para un mejor detalle, según Figura N° 07.

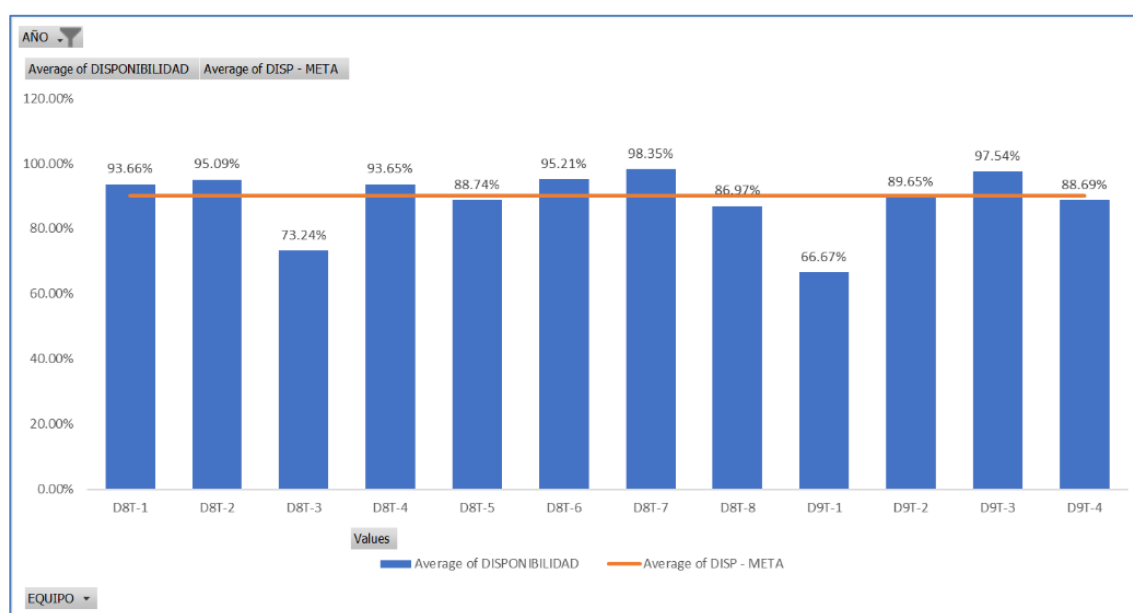


Figura N° 7. Detalle de disponibilidad de tractores

Fuente: Autor

4.3. Análisis de las fallas en los equipos críticos

4.3.1 Análisis de fallas en Tractor D8T-3

De la base de datos que se generó, Tabla N° 02, se verificó la cantidad de horas de cada falla, y se realizó la clasificación según el sistema, subsistema y componente al que afectaron, esta información es necesaria para efectuar el análisis de cada una de las fallas que tuvieron los tractores, el tiempo que estuvieron inoperativos.

De la información obtenida, se realizó una gráfica Pareto, para identificar cuáles fueron los sistemas que más fallas presentaron, según detalle de Figura N° 08.

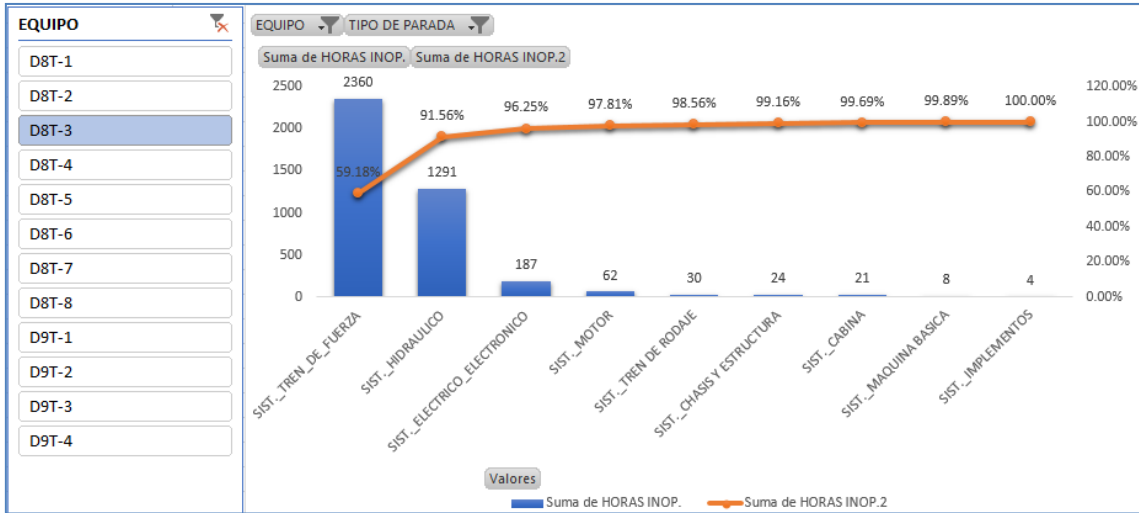


Figura N° 8. Fallas por sistema en tractor D8T-3

Fuente: Autor

Se determinó que los sistemas con mayor tiempo de paradas por falla, son el sistema de tren de fuerza e hidráulico, con esta información, se analizaron cuáles fueron los subsistemas más afectados, el detalle se muestra en la Figura N° 09.

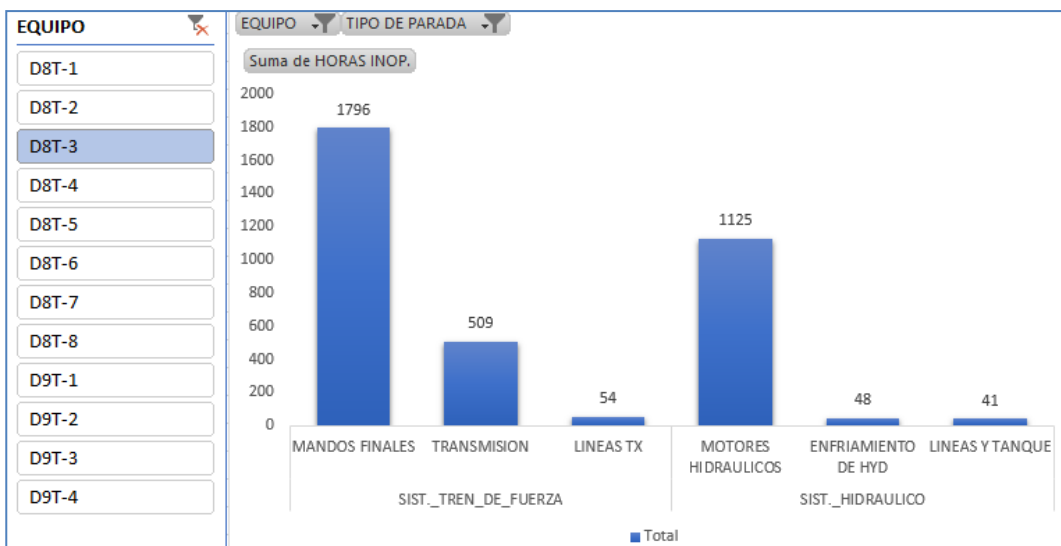


Figura N° 9. Fallas por sistema en tractor D8T-3

Fuente: Autor

El mantenimiento preventivo que se aplicó en los tractores, consistió en 4 tipos de mantenimiento, el detalle se muestra en la Tabla N° 7.

TIPO MANTTO	FRECUENCIA (HRS)
PM01	250
PM02	500
PM03	1000
PM04	2000

Tabla N° 7. Tipos de mantenimiento y frecuencia

Fuente: Autor

Para el caso del tractor D8T-3, los 4 tipos de mantenimiento se realizaron 8 intervalos, el detalle se muestra en la Tabla N° 8.

EQUIPO	HORAS	TIPO MANTTO
D8T-3	250	PM01
D8T-3	500	PM02
D8T-3	750	PM01
D8T-3	1000	PM03
D8T-3	1250	PM01
D8T-3	1500	PM02
D8T-3	1750	PM01
D8T-3	2000	PM04

Tabla N° 8. Ciclo de mantenimiento del tractor D8T-3

Fuente: Autor

Los costos totales del mantenimiento fueron de 182477 dólares.

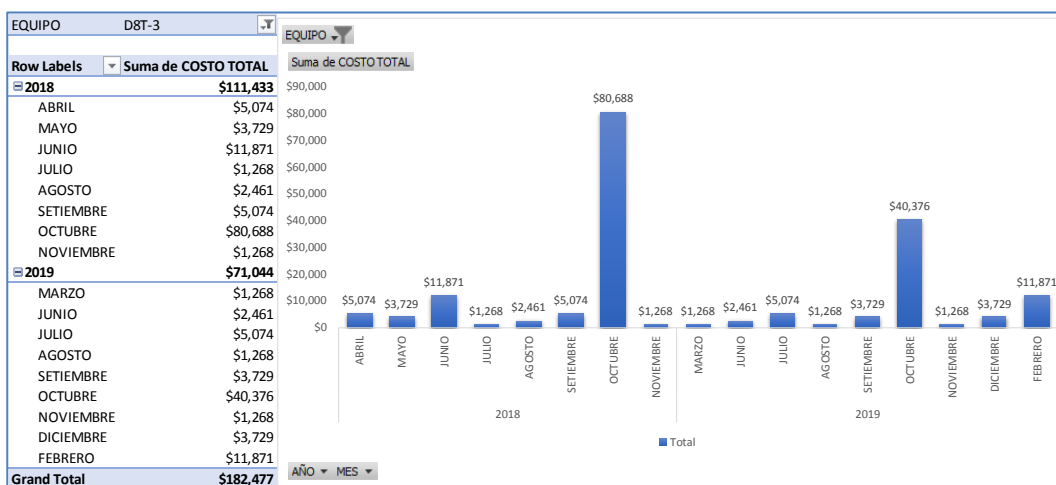


Figura N° 10. Costos de mantenimiento preventivo tractor D8T-3

Fuente: Autor

4.3.2 Análisis de fallas en Tractor 9T-1

De la base de datos (Tabla N° 01), se realizó una gráfica Pareto, para identificar cuáles fueron los sistemas que más horas de paradas presentaron en el tractor D9T-1, según detalle de Figura N° 11.

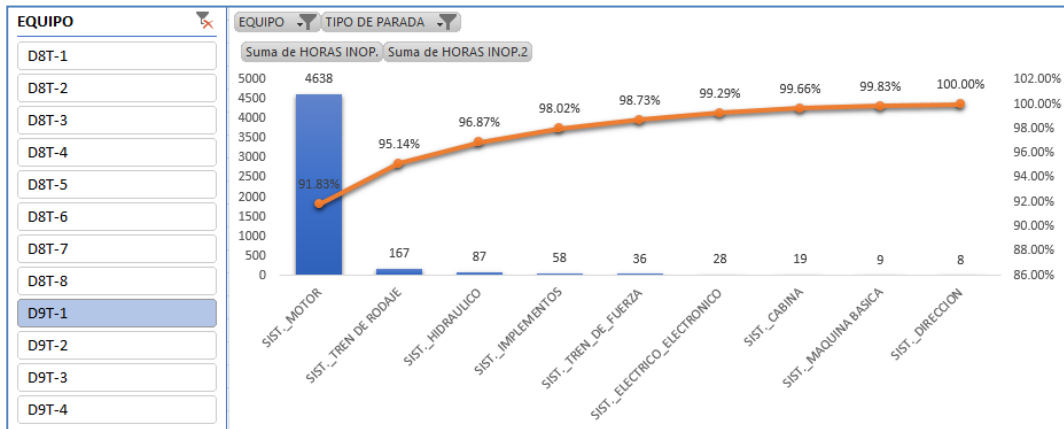


Figura N° 11. Fallas por sistema en tractor D9T-1

Fuente: Autor

Se determinó que los sistemas con mayor tiempo de paradas por falla, son el sistema de tren de fuerza e hidráulico, con esta información, se analizaron cuáles fueron los subsistemas más afectados, el detalle se muestra en la Figura N° 12.

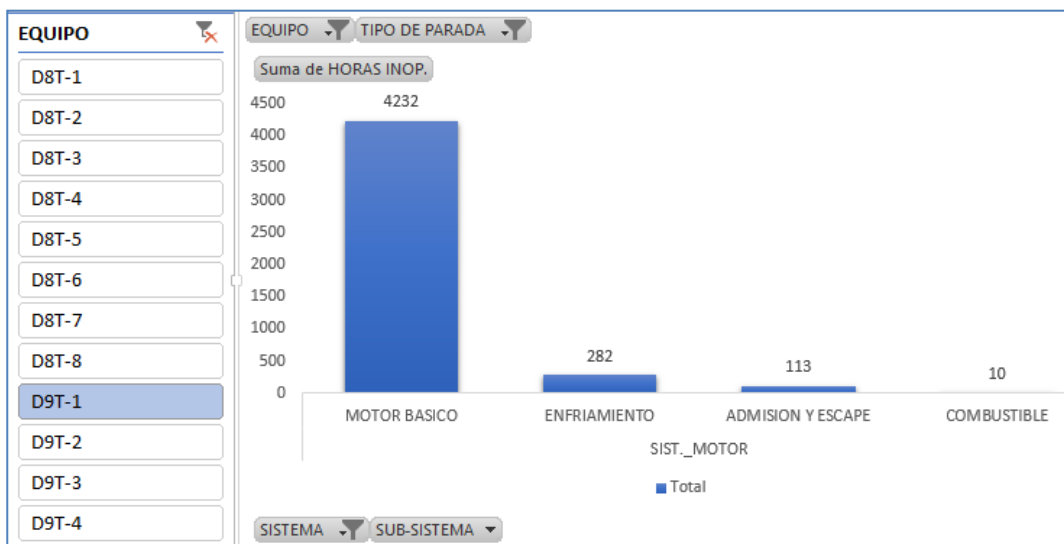


Figura N° 12. Fallas por sistema en tractor D9T-1

Fuente: Autor

Para el caso del tractor D9T-1, los 4 tipos de mantenimiento se realizaron 8 intervalos, el detalle se muestra en la Tabla N° 9.

EQUIPO	HORAS	TIPO MANTTO
D9T-1	250	PM01
D9T-1	500	PM02
D9T-1	750	PM01
D9T-1	1000	PM03
D9T-1	1250	PM01
D9T-1	1500	PM02
D9T-1	1750	PM01
D9T-1	2000	PM04

Tabla N° 9. Ciclo de mantenimiento del tractor D9T-1

Fuente: Autor

Los costos totales del mantenimiento para el tractor D9T-1 fueron de 56084 dólares, esto se debe a la baja disponibilidad que tuvo el tractor, detalle de costos en Figura N° 13.

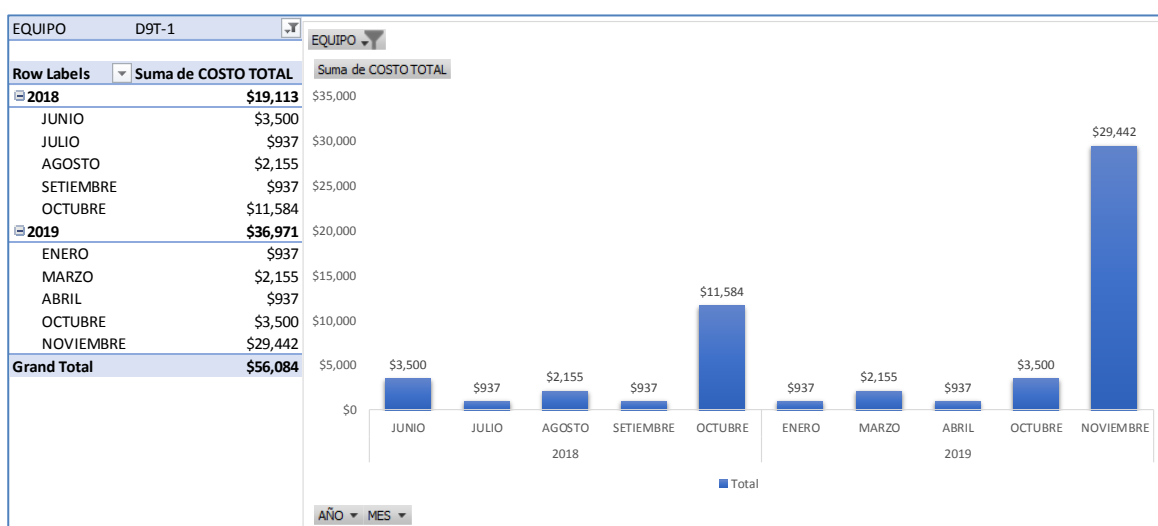


Figura N° 13. Costo del mantenimiento preventivo tractor D9T-1

Fuente: Autor

4.4. Análisis de Modo y Efectos de Falla (AMEF)

Para aplicar el análisis AMEF, solo se seleccionaron los sistemas que tuvieron más fallas en los equipos, para el caso del tractor D8T-3, los sistemas seleccionados fueron: mandos finales, transmisión y motores hidráulicos, y en el caso del tractor D9T-1, se seleccionó el sistema de motor, que ocupó el 91% del tiempo de las fallas que tuvo el equipo.

Los pasos que se utilizaron para realizar el AMEF fueron en base la norma SAE J1739 (Potential Failure Mode and Effects Analysis) (SAE, 2009).

- Identificar los sistemas para el análisis
- Describir las funciones de los sistemas
- Reconocer los modos de falla
- Nombrar los efectos que tiene cada modo de falla
- Asignar el nivel de gravedad, de ocurrir el fallo (1-10)

RANKING	EFECTO	GRAVEDAD (SEVERIDAD)
1	Ninguno	Ningún efecto
2	Muy Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en la línea y en la estación de trabajo. Defecto es percibido solo por clientes expertos.
3	Pequeño	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto probablemente deba ser retrabajada en línea pero fuera de la estación de trabajo. Defecto es percibido por el cliente promedio.
4	Muy Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. El producto probablemente deba ser clasificado y una porción (menor al 100%) retrabajada. Defecto percibido por la mayoría de los clientes.
5	Bajo	Interrupción menor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea retrabajado. ítem operable. pero algunos ítems de confort/ conveniencia operables a un nivel reducido de rendimiento. Cliente experimenta alguna insatisfacción.
6	Moderado	Interrupción menor a la línea de producción. Una porción (menor al 100%) probablemente deba ser desechada (no clasificada). ítem operable, pero algunos ítems de confort/ conveniencia inoperables. Clientes experimentan incomodidad.
7	Alto	Interrupción menor a la línea de producción. Producto probablemente deba ser clasificada y una porción (menor al 100%) desechada. ítem operable, pero a un nivel reducido de rendimiento. Cliente insatisfecho.
8	Muy Alto	Interrupción mayor a la línea de producción. 100% del producto probablemente sea desechado. ítem inoperable, pérdida de su función primaria. Cliente muy Insatisfecho.
9	Peligroso: Con Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá CON AVISO.
10	Peligroso: Sin Aviso	Puede poner en peligro al operador. Modo de fallas afecta la operación segura y/o involucra la no conformidad con regulaciones gubernamentales. La falla ocurrirá SIN AVISO.

Tabla N° 10. Detalle de ponderación de gravedad (NPR)

Fuente: (Lean Solutions, 2019)

- Asignar el grado de ocurrencia, que tan probable es que se materialice la falla (1-10)

RANKING	RATIO FALLA	OCURRENCIA (PROBABILIDAD)
1	1 en 1,500,000	Remota: Falla es improbable. Fallas nunca asociadas con procesos casi idénticos.
2	1 en 150,000	Muy Baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos
3	1 en 15,000	Baja: Fallas aisladas asociadas con procesos similares
4	1 en 2,000	Ocasionales, pero no en proporciones significativas
5	1 en 400	Que han experimentado fallas
6	1 en 80	Moderada: Generalmente asociados con procesos similares
7	1 en 20	falla frecuentemente
8	1 en 8	Alta: Generalmente asociada con procesos similares a procesos previos que han fallado
9	1 en 3	Falla es casi inevitable
10	1 en 2	Muy Alta

Tabla N° 11. Detalle de ponderación de ocurrencia (NPR)

Fuente: (Lean Solutions, 2019)

- Asignar el grado de detección de cada modo de falla, es decir, el nivel de facilidad con el que se puede identificar la falla antes de que ocurra (1-10).

RANKING	DETECCIÓN	DETECCIÓN (PROBABILIDAD)
1	Casi Seguro	Prueba debe detectar 99.5 % de fallas
2	Muy Alta	Prueba debe detectar 97.5 % de fallas
3	Moderada	Prueba debe detectar 95 % de fallas
4	Altamente Moderada	Prueba debe detectar 92.5 % de fallas
5	Moderada	Prueba debe detectar 90 % de fallas
6	Baja	Prueba debe detectar 87.5 % de fallas
7	Muy Baja	Prueba debe detectar 85 % de fallas
8	Remota	Prueba debe detectar 82.5 % de fallas
9	Muy Remota	Prueba debe detectar 80 % de fallas
10	Casi Imposible	Prueba detecta < 80 % de fallas

Tabla N° 12. Detalle de ponderación de detección (NPR)

Fuente: (Lean Solutions, 2019)

- Calcular el número prioritario de riesgo (NPR), es la multiplicación de la gravedad x ocurrencia x detección.

NPR = OCURRENCIA X SEVERIDAD X DETECCIÓN	
500 – 1000	Alto riesgo de falla
125 – 499	Riesgo de falla medio
1 – 124	Riesgo de falla bajo

Tabla N° 13. Detalle de ponderación de detección (NPR)

Fuente: (Lean Solutions, 2019)

- Identificar los modos de falla con mayor NPR.
- Establecer estrategias para reducir o eliminar la probabilidad de que se materialice el modo de falla.
- Luego de establecer plan de actividades, se vuelve a calcular el nuevo NPR, para verificar si existen niveles de riesgos elevados.

4.4.1 Análisis AMEF en Tractores D8T-3 y D9T-2

De los resultados obtenidos en el análisis Pareto, se seleccionaron los sistemas para el análisis AMEF, el detalle del análisis se muestra en la Tabla N° 14.

AMEF - EQUIPO: TRACTOR D9T-1 / SISTEMA: MOTOR																		
CÓD.	FUNCIÓN	CÓD.	FALLA FUNCIONAL	CÓD.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS	G	O	D	NPR	TIPO DE MANTENIMIENTO	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	PERSONAL	G	O	D	NPR
1	BRINDAR MOVIMIENTO A LOS COMPONENTES PARA GENERAR PRESIÓN, GIRANDO A 1833 RPM, CON 5% DE VARIACIÓN	A	MOTOR NO ENCIENDE	1	EQUIPO INOPERATIVO POR BLOQUEO DE ALARMA	SOLENOIDES BLOQUEAN PASO DE ACEITE Y COMBUSTIBLE	7	3	5	105	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	1 ELECTRICISTA	7	2	4	56
				2	TABLERO BLOQUEADO POR FALLAS ELÉCTRICAS	BLOQUEO DE MANDOS EN FUNCIONAMIENTO	8	3	5	120	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	2000 HORAS	1 ELECTRICISTA	8	2	4	64
				3	VÁLVULAS OBSTRUÍDAS	MANDOS NO RESPONDEN	8	3	5	120	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	4	64
				4	OBSTRUCCIÓN EN INYECTORES	SOLENOIDE SE BLOQUEA	8	2	5	80	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	2000 HORAS	1 ELECTRICISTA	8	2	4	64
				5	NIVEL DE ACEITE BAJO	DETERIORO PREMATURO DE COMPONENTES	8	4	4	128	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48
				6	TEMPERATURA ALTA BLOQUEO POR ALARMA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	RECALENTAMIENTO DE LOS COMPONENTES INTERNOS	8	6	3	144	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	2	32
				7	TEMPERATURA ALTA POR PERDIDA DE PROPIEDADES DEL ACEITE	EQUIPO INOPERATIVO	8	3	2	48	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	8	2	2	32
		B	MOTOR NO REVOLUCIONA CON NORMALIDAD	1	OBSTRUCCIÓN DE FILTROS DE AIRE	PERDIDA DE POTENCIA	6	6	2	72	MONITOREO DE CONDICIÓN	CAMBIO DE FILTROS DE AIRE	250 HORAS	2 MECANICOS	6	2	2	24
				2	OBSTRUCCIÓN DE FILTROS DE COMBUSTIBLE	PERDIDA DE POTENCIA	7	3	3	63	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	250 HORAS	2 MECANICOS	7	2	3	42
				3	FALLA EN BOMBA DE COMBUSTIBLE	PERDIDA DE POTENCIA	7	3	4	84	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	250 HORAS	2 MECANICOS	7	2	4	56
				4	DESGASTE COMPONENTES INTERNOS	CONSUMO DE ACEITE	9	4	7	252	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	9	2	6	108
				5	TEMPERATURA ALTA POR FALTA DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA	ALARMA DE TEMPERATURA ELEVADA	9	5	6	270	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	1 ELECTRICISTA	9	3	4	108

Tabla N° 14. AMEF transmisión de tractor D9T-1

Fuente: Autor, tabla completa en anexo 06

4.4.2 Diagrama Causas

Para establecer las tareas de mantenimiento a efectuar, se tuvo en cuenta el análisis de los modos de falla, mediante el diagrama causa efecto, que se muestra en la Figura N° 14.

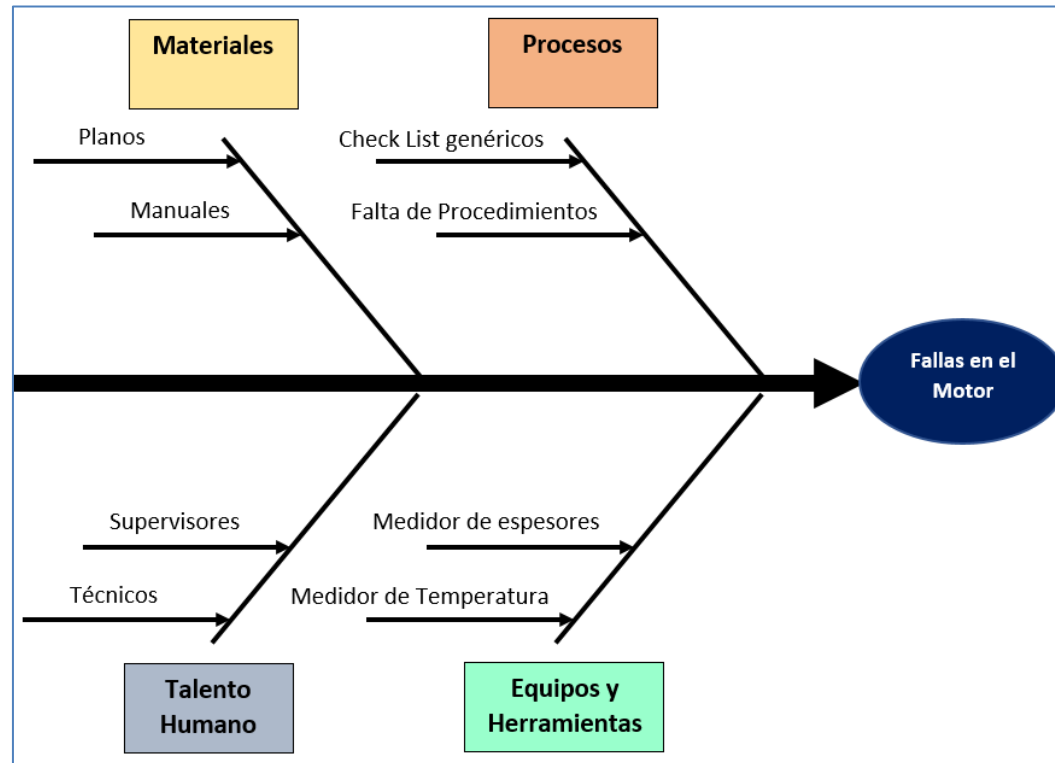


Figura N° 14. Diagrama de causas

Fuente: Autor

4.5. Diseño del Plan de Mantenimiento Basado en Confiabilidad

Después de realizar el análisis AMEF, donde se identificaron las actividades necesarias para reducir la probabilidad de se procedió a establecer las actividades, para realizar el nuevo plan de mantenimiento.

SISTEMA	FRECUENCIA			
	PM1	PM2	PM3	PM4
MOTOR	250	500	1000	2000
CAMBIAR FILTRO DE AIRE PRIMARIO	X	X	X	X
MUESTREO DE REFRIGERANTE DEL MOTOR			X	X
CAMBIAR FILTRO DE AIRE SECUNDARIO		X	X	X
CAMBIAR FILTRO SECUNDARIO DE COMBUSTIBLE		X	X	X
INSPECCIONAR LA TAPA DEL RADIADOR	X	X	X	X
INSPECCIONAR EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	X	X	X	X
INSPECCIONAR LAS FAJAS DEL MOTOR	X	X	X	X
MEDICION DE TEMPERATURA AL INGRESAR AL TALLER	X	X	X	X
CAMBIO DE FILTROS ACEITE DEL MOTOR	X	X	X	X
VERIFICAR JUEGO DE VÁLVULAS DEL MOTOR				X
CAMBIAR EL TERMOSTATO				X
VERIFICAR RESPIRADERO DEL CÁRTER MOTOR	X	X	X	X
CAMBIO DE ACEITE DE MOTOR	X	X	X	X
INSPECCIONAR LAS VÁLVULAS DEL MOTOR				X
CALIBRACIÓN DE VÁLVULAS DEL MOTOR				X
MUESTREO PARA ANÁLISIS DE ACEITE	X	X	X	X
CAMBIAR FILTRO PRIMARIO DE COMBUSTIBLE		X	X	X
VERIFICAR TAPONES MAGNÉTICOS	X	X	X	X
TREN DE FUERZA				
INSPECCIONAR NIVEL DE ACEITE DEL EJE PIVOTE	X	X	X	X
INSPECCIONAR NIVEL DE ACEITE EN MANDOS FINALES	X	X	X	X
CAMBIAR EL ACEITE DEL TREN DE FUERZA (TRANSMISIÓN DIRECTA)				X
MEDICION DE TEMPERATURA AL INGRESAR AL TALLER	X	X	X	X
CAMBIAR EL ACEITE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN			X	X
INSPECCIONAR LOS MANDOS FINALES	X	X	X	X
CAMBIAR ACEITE DE MANDOS FINALES				X
CAMBIAR FILTRO DE ACEITE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN			X	X
MUESTREO PARA ANÁLISIS DE ACEITE	X	X	X	X
VERIFICAR TAPONES MAGNÉTICOS	X	X	X	X
HIDRÁULICO				
CAMBIAR FILTRO DE ACEITE HIDRÁULICO		X	X	X
VERIFICAR EL VÁSTAGO Y LA PUNTA DEL RIPPER	X	X	X	X
CAMBIAR ACEITE DEL SISTEMA HIDRÁULICO				X
LUBRICAR EL MECANISMO (VARILLAJE DEL CONTROL HIDRÁULICO)		X	X	X
MEDICION DE TEMPERATURA AL INGRESAR AL TALLER	X	X	X	X
INSPECCIONAR EL NIVEL DE ACEITE EN EL SISTEMA HIDRÁULICO	X	X	X	X
MUESTREO PARA ANÁLISIS DE ACEITE	X	X	X	X

Tabla N° 15. Plan de mantenimiento

Fuente: Autor

SISTEMA	FRECUENCIA			
	PM1	PM2	PM3	PM4
CHASIS Y ESTRUCTURA	250	500	1000	2000
VERIFICAR EL ESTADO DE CUCHILLAS Y CANTONERAS	X	X	X	X
LUBRICAR VARILLAJE Y COJINETE DEL CILINDRO DEL RIPPER	X	X	X	X
VERIFICAR TEMPERATURA AL INGRESAR AL TALLER	X	X	X	X
LUBRICAR LOS COJINETES DEL CILINDRO DEL LEVANTATE	X	X	X	X
INSPECCIONAR EL CINTURON DE SEGURIDAD	X	X	X	X
VERIFICAR EL AJUSTE DE LA CADENA Y SALIDA DE TELESCÓPICO	X	X	X	X
INSPECCIONAR LOS PINES DE LA CADENA	X	X	X	X
MUESTREO PARA ANÁLISIS DE ACEITE	X	X	X	X
ELÉCTRICO ELECTRÓNICO				
INSPECCIONAR FUSIBLES	X	X	X	X
REVISAR BOCINA	X	X	X	X
VERIFICAR TEMPERATURA EN TABLEROS AL INGRESAR AL TALLER	X	X	X	X
REVISAR ALARMA DE RETROCESO	X	X	X	X
INSPECCIONAR BATERÍA	X	X	X	X
REVISAR INDICADORES DEL TABLERO DE CONTROL	X	X	X	X
ESCANEO DE SISTEMA ECM			X	X
TREN DE RODAJE				
VERIFICAR LAS CADENAS, SEGMENTOS, RODILLOS Y RUEDAS GUÍA	X	X	X	X
VERIFICAR TEMPERATURA DE BOCINAS Y SEGMENTOS	X	X	X	X
INSPECCIONAR LOS COJINETES DEL CUBO (MASA) DEL MANDO FINAL	X	X	X	X
VERIFICAR TENSIÓN DE LA CADENA, TEMPLAR SI ES NECESARIO	X	X	X	X
INSPECCIONAR MEDIDAS DE RODILLOS Y CADENA	X	X	X	X
INSPECCIONAR MEDIDAS DE GETS	X	X	X	X

Tabla N° 16. Plan de mantenimiento basado

Fuente: Autor

Para establecer las tareas del plan de mantenimiento, se tomó como base, el manual del fabricante Caterpillar, luego, con el personal involucrado en las actividades, se decidió incluir las tareas determinadas por el AMEF, además de modificar algunas frecuencias de mantenimiento preventivo y predictivo, todo esto, debido a las fallas encontradas en el histórico de los equipos, durante la recopilación y análisis de los datos de los equipos.

Para realizar las actividades del nuevo plan de mantenimiento se tuvo que realizar una inversión inicial, en la que se contemplaron capacitación del personal y el incremento de las horas de trabajo en los mantenimientos programados, debido a las nuevas actividades que se incluyeron durante los mantenimientos. El detalle de los nuevos costos se contempla en las tablas N° 17, 18 y 19.

DETALLE	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL
CURSO ET CATERPILLAR (ECM)	23	350	\$ 8,050.00
CURSO ANÁLISIS DE ACEITE	23	500	\$ 11,500.00
EQUIPO ULTRASONIDO	1	2000	\$ 2,000.00
EQUIPO TERMOGRAFÍA	1	450	\$ 450.00
TOTAL			\$ 22,000.00

Tabla N° 17. Costos de capacitación para nuevas tareas

Fuente: Autor

TIPO MANTTO	FRECUENCIA (HRS)	TIEMPO I (HRS)	PERSONAL	COSTO MATERIALES	COSTO TIEMPO	COSTO TOTAL
D8T-3 PM01	250	2	3	\$ 1,148.00	\$ 120.00	\$ 1,268.00
D8T-3 PM02	500	3	3	\$ 2,281.00	\$ 180.00	\$ 2,461.00
D8T-3 PM03	1000	12	3	\$ 3,086.00	\$ 720.00	\$ 3,806.00
D8T-3 PM04	2000	24	3	\$ 10,431.00	\$ 1,440.00	\$ 11,871.00
D9T-1 PM01	250	2	3	\$ 817.00	\$ 120.00	\$ 937.00
D9T-1 PM02	500	3	3	\$ 1,975.00	\$ 180.00	\$ 2,155.00
D9T-1 PM03	1000	12	3	\$ 2,780.00	\$ 720.00	\$ 3,500.00
D9T-1 PM04	2000	24	3	\$ 10,144.00	\$ 1,440.00	\$ 11,584.00
TOTAL						\$ 37,582.00

Tabla N° 18. Detalle de costos de los mantenimientos antes

Fuente: Autor

TIPO MANTTO	FRECUENCIA (HRS)	TIEMPO F (HRS)	PERSONAL	COSTO MATERIALES	COSTO TIEMPO	COSTO TOTAL
D8T-3 PM01	250	4	3	\$ 1,148.00	\$ 240.00	\$ 1,388.00
D8T-3 PM02	500	6	3	\$ 2,281.00	\$ 360.00	\$ 2,641.00
D8T-3 PM03	1000	18	3	\$ 3,086.00	\$ 1,080.00	\$ 4,166.00
D8T-3 PM04	2000	24	3	\$ 10,431.00	\$ 1,440.00	\$ 11,871.00
D9T-1 PM01	250	4	3	\$ 817.00	\$ 240.00	\$ 1,057.00
D9T-1 PM02	500	6	3	\$ 1,975.00	\$ 360.00	\$ 2,335.00
D9T-1 PM03	1000	18	3	\$ 2,780.00	\$ 1,080.00	\$ 3,860.00
D9T-1 PM04	2000	24	3	\$ 10,144.00	\$ 1,440.00	\$ 11,584.00
TOTAL						\$ 38,902.00

Tabla N° 19. Detalle de costos de los mantenimientos después

Fuente: Autor

Estos precios finales fueron los que se utilizaron para determinar la

viabilidad de la implementación del plan de mantenimiento.

De la implementación del plan de mantenimiento, se realizaron formatos para llevar el control de las actividades ejecutadas y tomarlas como base para aplicar el plan de mantenimiento a los demás equipos.

PLANO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
TRACTOR D8T-3 2000 HRS

FECHA 13/07/2011
HOROMETRO. PM 14419
LUGAR Tandino S
HR. INICIO EJE 07:30
HR. FIN EJE 12:30

No Scto.
1 venis y punto.

*Todo trabajo de reparación requiere el bloqueo de la máquina
*Todo bloqueo es individual y se hace en la llave de corte general de energía.
*El aceite caliente puede causar daños severos a la piel.

KIT DE REPUESTOS / INSUMOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	N/P	SI	NO	OBSERVACIONES
FILTRO DE AIRE PRIMARIO	1	612505	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE AIRE SECUNDARIO	1	612506	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SELLO DE FILTRO ELEMENTO HIDRAULICO TANC	1	5H6733	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE COMBUSTIBLE	2	1R0749	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO SEPARADOR AGUA - COMBUSTIBLE	1	3261644	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO ELEMENTO HIDRAULICO TANQUE	1	1R0777	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	1	1R1808	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO HIDRAULICO DIRECCIÓN	1	4656506	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE CABINA ELEMENTO	1	2096217	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE CABINA ELEMENTO EXTERIOR	1	2310167	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO DE TRANSMISION	1	3375270	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO RESPIRADOR HIDRÁULICO	1	3G4783	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
FILTRO RESPIRADOR DE TRASMIÓN	1	9G5127	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

TENER EN CUENTA CAPACIDADES DE COMPARTIMIENTOS Y TIPO DE ACEITE A USAR					
ACEITE DE MOTOR SAE 15W40	10	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	SAE 15W40
ACEITE HIDRÁULICO	19.8	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	SAE 10W
ACEITE DE TRANSMISIÓN	41	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 30
ACEITE DE MANDO FINAL LH	3.4	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 50
ACEITE DE MANDO FINAL RH	3.4	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 50
ACEITE DE EJE PIVOT	11.6	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 50
ACEITE DE BASTIDOR LH	9.8	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 50
ACEITE DE BASTIDOR RH	9.8	Gal.	<input checked="" type="checkbox"/>	OK	HD 50

TOMA DE MUESTRAS	SI	NO
* Motor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
* Sistema hidráulico	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
* Sistema de transmisión	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
* Mando final derecho	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
* Mando final izquierdo	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

REVISAR TAPONES MAGNÉTICOS	SI	NO
* Mando final derecho	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Mando final izquierdo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Transmisión (Tapón y rejilla)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LUBRICACIÓN Y ENGRASE

*El aceite caliente puede causar daños severos a la piel.

Figura N° 15. Plan de mantenimiento 2000Hrs D8T-3

Fuente: Empresa

LUBRICACIÓN		SI	NO
* Lavado del equipo		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio aceite de motor		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de aceite de motor		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de combustible		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro separador de agua		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de aire primario		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de aire secundario		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de cabina		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de cabina elemento		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Limpiar respirador del motor		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio aceite de transmisión		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de la transmisión		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambiar respirador de la transmisión		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Inspeccionar/limpiar rejilla de la transmisión		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Inspeccionar/limpiar filtro magnético de la transmisión		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio de aceite hidráulico		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro hidráulico del tanque		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio sello de filtro hidráulico del tanque		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio filtro de dirección		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambiar respirador del tanque hidráulico		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Limpiar tapa del tanque hidráulico		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cambio de aceite de mandos finales		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Analizar y/o cambiar el refrigerante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Limpiar colador del tanque de combustible		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Arrancar equipo y chequear niveles		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ENGRASE		SI	NO
* Tirante de y cilindro de inclinación de la hoja topadora		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Cojinetes de cilindros de levante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Varillaje y cojinetes del desgarrador		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
* Extremos de la barra equalizadora		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

OBSERVACIONES	

Figura N° 16. Plan de mantenimiento 2000Hrs D8T-3

Fuente: Empresa

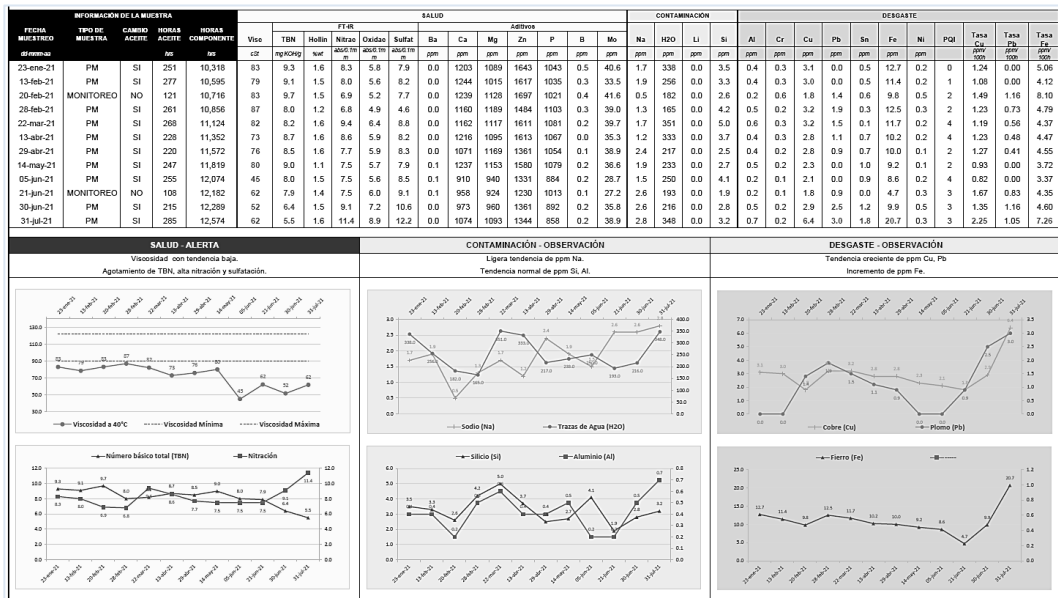


Figura N° 17. Seguimiento análisis de aceite de los tractores

Fuente: Empresa

4.6. Validación estadística de los efectos del plan de mantenimiento en la disponibilidad de la flota de tractores.

Para determinar si realmente el plan de mantenimiento tuvo algún efecto en la disponibilidad de los tractores, se analizaron los datos de disponibilidad antes y después de aplicar el plan de mantenimiento, los datos se muestran en la Tabla N° 20.

DISPONIBILIDAD D8T-3			DISPONIBILIDAD D9T-1		
MES	ANTES	DESPUES	MES	ANTES	DESPUES
1	95.42%	95.74%	1	100.00%	95.57%
2	61.09%	97.45%	2	99.30%	97.69%
3	53.19%	98.35%	3	49.03%	95.21%
4	97.98%	94.69%	4	92.76%	98.12%
5	98.84%	94.47%	5	98.46%	98.35%
6	97.76%	98.09%	6	100.00%	99.79%
7	81.47%	86.67%	7	100.00%	91.91%
8	0.00%	97.78%	8	88.39%	96.61%
9	66.89%	98.27%	9	79.62%	93.27%
10	95.20%	91.39%	10	61.16%	99.58%
11	39.78%	99.85%	11	82.40%	99.93%
12	0.00%	97.90%	12	27.86%	98.52%
13	1.75%	97.48%	13	0.00%	94.22%
14	89.66%	97.14%	14	0.00%	95.65%
15	76.39%	97.98%	15	0.00%	91.91%
16	99.21%	98.29%	16	0.00%	99.29%
17	96.91%	90.43%	17	54.61%	97.36%
18	94.37%	98.84%	18	81.29%	100.00%
19	99.72%	100.00%	19	85.17%	100.00%
20	92.83%	92.80%	20	100.00%	99.20%
PROMEDIO	72%	96%	PROMEDIO	65%	97%

Tabla N° 20. Disponibilidad antes y después en los tractores

Fuente: Autor

Debido a que la cantidad de muestras es de 20, y se supone el comportamiento normal de las muestras, se aplicó la distribución T-Student para la validación estadística.

4.6.1 Validación estadística de los efectos del plan en el tractor D8T-3

Para realizar la validación estadística, primero revisamos la hipótesis de la investigación: La implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, incrementará la disponibilidad de los tractores en la flota de equipos.

El objetivo de la hipótesis estadística se enfoca en comparar la disponibilidad mecánica de los equipos de la empresa antes y después de aplicar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Formulación de la Hipótesis de contrastación

La Hipótesis estadística en este caso será:

H_1 : El promedio de la disponibilidad antes de la aplicación del plan de mantenimiento es menor.

H_0 : El promedio de la disponibilidad antes de la aplicación del plan de mantenimiento es igual o mayor en comparación a la obtenida después de su aplicación.

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ (Hipótesis alterna)

$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$ (Hipótesis nula a contrastar)

Establecer el valor de significancia (α)

Para tener validez en este caso se asume una confianza del 95%, es decir, que el nivel de significancia que se utilizó fue de $\alpha = 0.05$, con este valor y los grados de libertad ($n-1$), se ubicó en la tabla de T-Student el valor t crítico para 19 grados de libertad y una significancia de 0.05, con lo que se obtiene $t = 1.7291$.

La tabla para obtener el valor de t crítico se encuentra en el anexo 07

Calcular el valor de t

Para calcular el valor de t, se determinó las diferencias entre las muestras y sus promedios, en la Tabla N° 21, se calculó manualmente.

MES	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	d1-d	(d1-d)2
1	95.42%	95.74%	0.00	-0.24	0.06
2	61.09%	97.45%	0.36	0.12	0.01
3	53.19%	98.35%	0.45	0.21	0.04
4	97.98%	94.69%	-0.03	-0.28	0.08
5	98.84%	94.47%	-0.04	-0.29	0.08
6	97.76%	98.09%	0.00	-0.24	0.06
7	81.47%	86.67%	0.05	-0.19	0.04
8	0.00%	97.78%	0.98	0.74	0.54
9	66.89%	98.27%	0.31	0.07	0.01
10	95.20%	91.39%	-0.04	-0.28	0.08
11	39.78%	99.85%	0.60	0.36	0.13
12	0.00%	97.90%	0.98	0.74	0.54
13	1.75%	97.48%	0.96	0.71	0.51
14	89.66%	97.14%	0.07	-0.17	0.03
15	76.39%	97.98%	0.22	-0.03	0.00
16	99.21%	98.29%	-0.01	-0.25	0.06
17	96.91%	90.43%	-0.06	-0.31	0.09
18	94.37%	98.84%	0.04	-0.20	0.04
19	99.72%	100.00%	0.00	-0.24	0.06
20	92.83%	92.80%	0.00	-0.24	0.06
PROMEDIO	72%	96%	0.24	0.00	2.52

Sd	0.36	$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}}$	$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$
t	2.98		

Tabla N° 21. Cálculo de t para el tractor D8T-3

Fuente: Autor

Del mismo modo, se obtuvo el valor de t de manera directa, con el análisis de datos, como se aprecia en la Tabla N° 22.

t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	0.96180688	0.71922904
Variance	0.00120292	0.12352751
Observations	20	20
Pearson Correlation	-0.3138556	
Hypothesized Mean	0	
df	19	
t Stat	2.9816135	
P(T<=t) one-tail	0.0038337	
t Critical one-tail	1.72913281	
P(T<=t) two-tail	0.0076674	
t Critical two-tail	2.09302405	

Tabla N° 22. Cálculo de t para el tractor D8T-3

Fuente: Autor

Como se apreció en las Tablas anteriores, se obtuvo el valor de $t = 2.98$. Otra manera de verificar la validez de los cálculos, es con el valor de p (probabilidad de error = 0.0038), al ser menor que la significancia (0.05), corrobora que los datos que se obtuvieron son los correctos.

Decisión:

Para tomar una decisión sobre la validación o rechazo de las hipótesis planteadas, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

$t_{(\text{calculado})} < t_{(\text{tabla})}$ entonces se acepta H_0

$t_{(\text{calculado})} > t_{(\text{tabla})}$ entonces se acepta H_1

Debido a que el $t_{(\text{calculado})}$ es mayor al $t_{(\text{tabla})}$, se puede concluir el rechazo de H_0 , es decir aceptamos H_1 (hipótesis alterna):

Que concluye que: “El promedio de la Disponibilidad mecánica del periodo inicial de 20 meses es menor a la disponibilidad mecánica de los 20 meses siguientes, luego de la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, es decir que la condición final es el incremento de la disponibilidad.”

Esta decisión la podemos corroborar en las Figuras N° 18, 19 y 20.

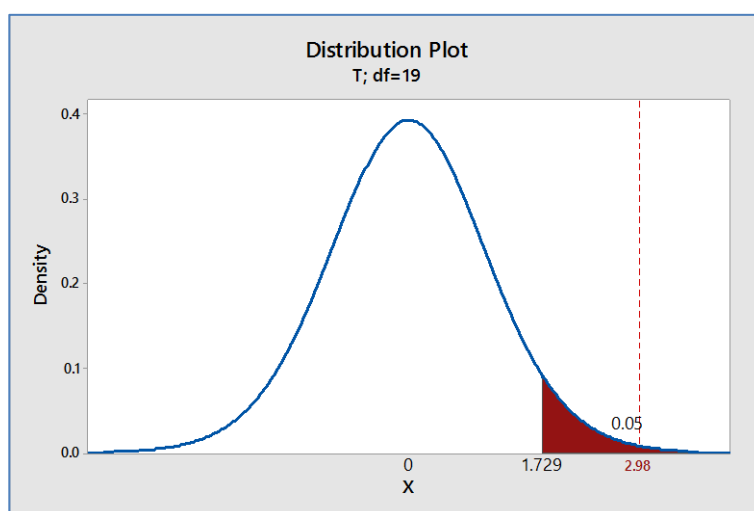


Figura N° 18. El valor de t cae en la zona de rechazo según la T-Sudent

Fuente: Autor

Gráficamente se puede apreciar la mejora en la disponibilidad del tractor D8T-3.

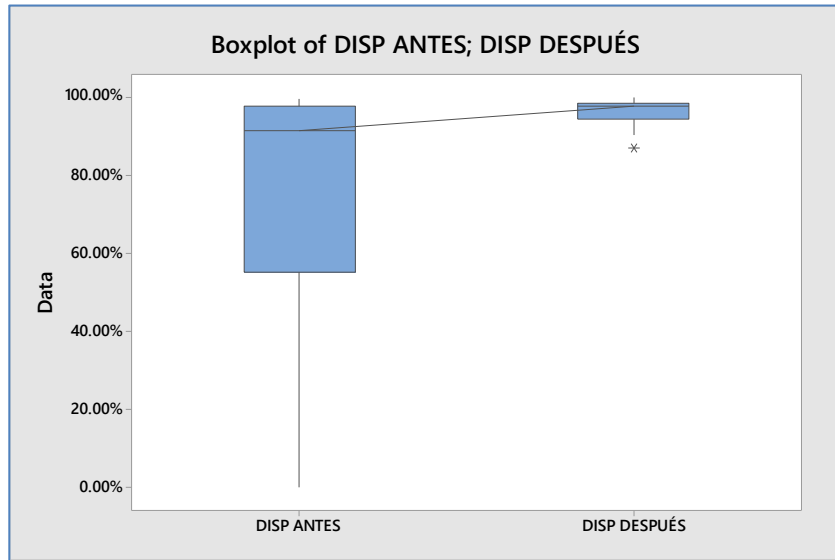


Figura N° 19. Gráfica de caja de la disponibilidad antes y después

Fuente: Autor

Del mismo modo se puede verificar el cambio en la disponibilidad.

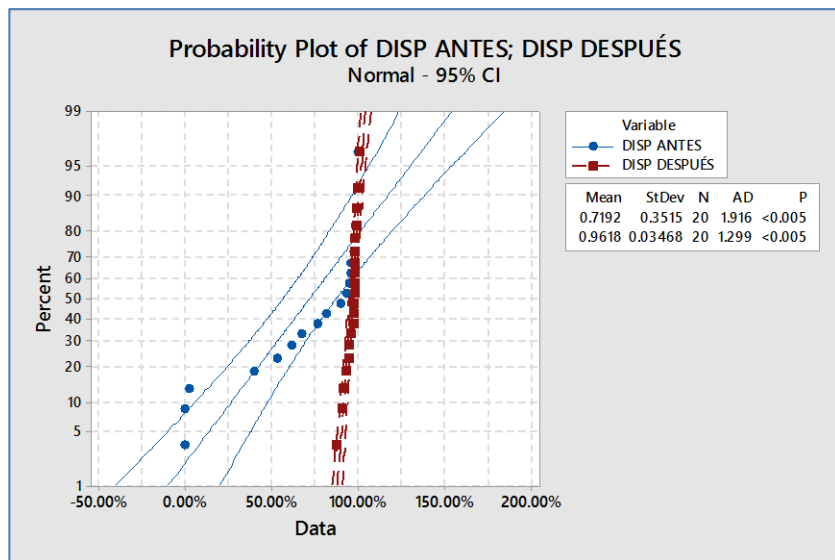


Figura N° 20. Gráfica de probabilidad de disponibilidad antes y después

Fuente: Autor

4.6.2 Validación estadística de los efectos del plan en el tractor D9T-1

Para realizar la validación estadística, primero revisamos la hipótesis de la investigación: La implementación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad, incrementará la disponibilidad de los tractores en la flota de equipos.

El objetivo de la hipótesis estadística se enfoca en comparar la disponibilidad mecánica de los equipos de la empresa antes y después de aplicar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Formulación de la Hipótesis de contrastación

La Hipótesis estadística en este caso será:

H_1 : El promedio de la disponibilidad antes de la aplicación del plan de mantenimiento es menor.

H_0 : El promedio de la disponibilidad antes de la aplicación del plan de mantenimiento es igual o mayor en comparación a la obtenida después de su aplicación.

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ (Hipótesis alterna)

$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$ (Hipótesis nula a contrastar)

Establecer el valor de significancia (α)

Para tener validez en este caso se asume una confianza del 95%, es decir, que el nivel de significancia que se utilizó $\alpha = 0.05$, con este valor y los grados de libertad ($n-1$), se ubicó en la tabla de T-Student el valor t crítico para 19 grados de libertad y una significancia de 0.05, con lo que se obtiene $t = 1.7291$.

La tabla para obtener el valor de t crítico se encuentra en el anexo 07

Calcular el valor de t

Para calcular el valor de t, se determinó las diferencias entre las muestras y sus promedios, en la Tabla N° 23, se calculó manualmente.

MES	ANTES	DESPUES	DIFERENCIA	D-d	(D-d)2
1	100.00%	95.57%	-0.04	-0.37	0.13
2	99.30%	97.69%	-0.02	-0.34	0.11
3	49.03%	95.21%	0.46	0.14	0.02
4	92.76%	98.12%	0.05	-0.27	0.07
5	98.46%	98.35%	0.00	-0.32	0.10
6	100.00%	99.79%	0.00	-0.32	0.10
7	100.00%	91.91%	-0.08	-0.40	0.16
8	88.39%	96.61%	0.08	-0.24	0.06
9	79.62%	93.27%	0.14	-0.18	0.03
10	61.16%	99.58%	0.38	0.06	0.00
11	82.40%	99.93%	0.18	-0.15	0.02
12	27.86%	98.52%	0.71	0.39	0.15
13	0.00%	94.22%	0.94	0.62	0.39
14	0.00%	95.65%	0.96	0.64	0.40
15	0.00%	91.91%	0.92	0.60	0.36
16	0.00%	99.29%	0.99	0.67	0.45
17	54.61%	97.36%	0.43	0.11	0.01
18	81.29%	100.00%	0.19	-0.13	0.02
19	85.17%	100.00%	0.15	-0.17	0.03
20	100.00%	99.20%	-0.01	-0.33	0.11
PROMEDIO	65%	97%	0.32	0.00	2.74

Sd	0.38	$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}}$	$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$
t	3.78		

Tabla N° 23. Cálculo de t para el tractor D9T-1

Fuente: Autor

Del mismo modo, se obtuvo el valor de t de manera directa, con el análisis de datos, como se aprecia en la Tabla N° 24.

t-Test: Paired Two Sample for Means		
	Variable 1	Variable 2
Mean	0.97109465	0.65002421
Variance	0.00072363	0.14925735
Observations	20	20
Pearson Correlatic	0.27951239	
Hypothesized Mea	0	
df	19	
t Stat	3.78160391	
P(T<=t) one-tail	0.00063082	
t Critical one-tail	1.72913281	
P(T<=t) two-tail	0.00126164	
t Critical two-tail	2.09302405	

Tabla N° 24. Cálculo de t para el tractor D9T-1

Fuente: Autor

Como se apreció en las Tablas anteriores, se obtuvo el valor de $t = 3.78$. Otra manera de verificar la validez de los cálculos, es con el valor de p (probabilidad de error = 0.0006), al ser menor que la significancia (0.05), corrobora que los datos que se obtuvieron son los correctos.

Decisión:

Para tomar una decisión sobre la validación o rechazo de las hipótesis planteadas, se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

$t_{(\text{calculado})} < t_{(\text{tabla})}$ entonces se acepta H_0

$t_{(\text{calculado})} > t_{(\text{tabla})}$ entonces se acepta H_1

Debido a que el $t_{(\text{calculado})}$ es mayor al $t_{(\text{tabla})}$, se puede concluir el rechazo de H_0 , es decir aceptamos H_1 (hipótesis alterna):

Que concluye que: “El promedio de la Disponibilidad mecánica del periodo inicial de 20 meses es menor a la disponibilidad mecánica de los 20 meses siguientes, luego de la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, es decir que la condición final es el incremento de la disponibilidad.”

Esta decisión la podemos corroborar en las Figuras N° 21, 22 y 23.

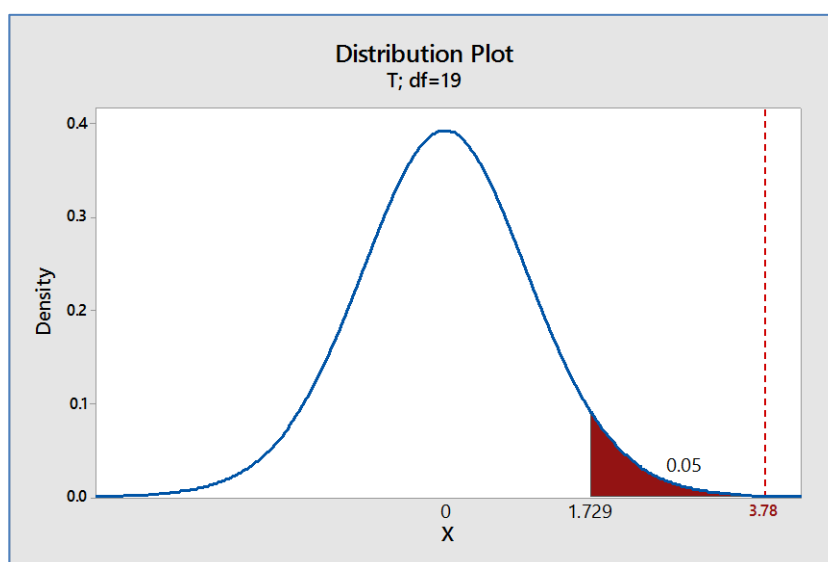


Figura N° 21. El valor de t cae en la zona de rechazo según la T-Sudent

Gráficamente se puede apreciar la mejora en la disponibilidad del tractor D8T-3.

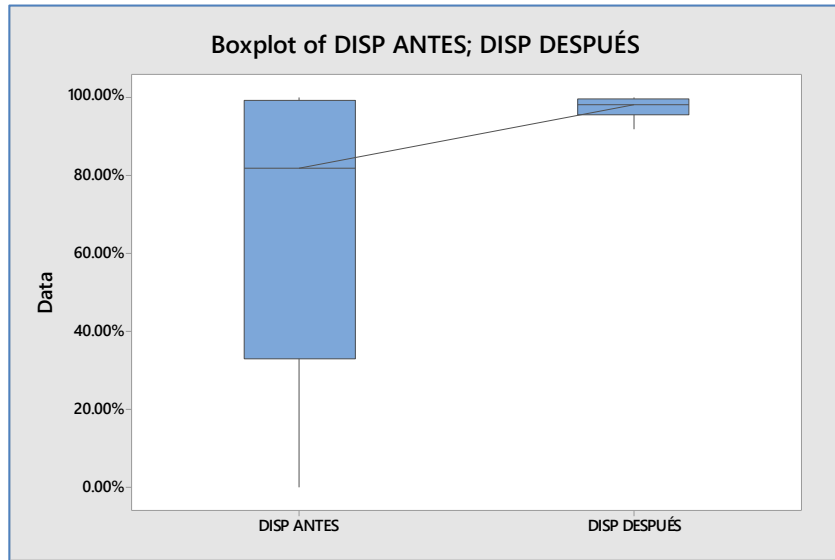


Figura N° 22. Gráfica de caja de la disponibilidad antes y después

Fuente: Autor

Del mismo modo se puede verificar el cambio en la disponibilidad.

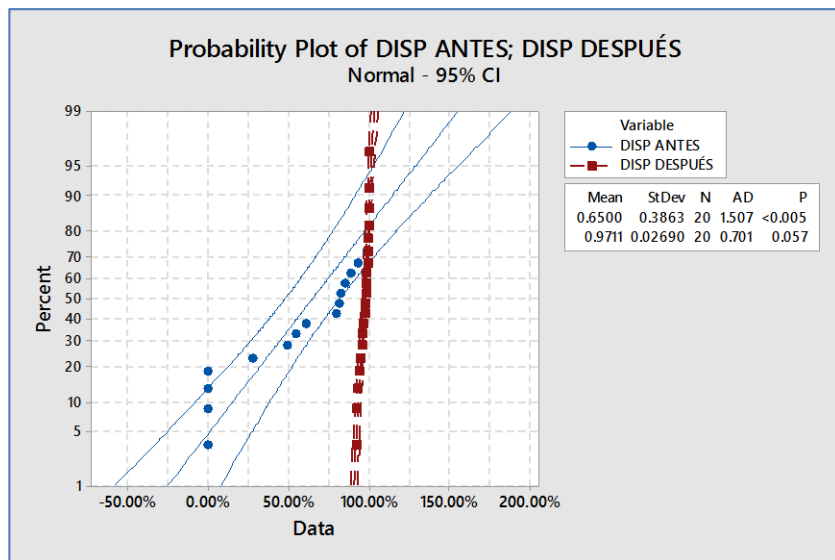


Figura N° 23. Gráfica de probabilidad de disponibilidad antes y después

Fuente: Autor

4.7. Viabilidad económica de la implementación del plan de mantenimiento

Después de verificar la viabilidad estadística de la aplicación de plan de mantenimiento, se procedió a calcular la viabilidad económica.

Para los costos de inversión se tomó los 22000 dólares del valor de la implementación, como egresos se tomaron los incrementos en los costos de mantenimiento preventivo y predictivo, es decir, la diferencia de los costos de mantenimiento preventivo antes y después de la implementación, dando como resultado un promedio anual de -55031 dólares, adicionando los costos de operación, se incrementa a -145170.56.

Como ingresos se tomaron de referencia las horas de disponibilidad que se incrementaron con la implementación, dando un promedio anual de 245.04 horas por equipo, considerando los valores de disponibilidad promedio antes de 88.95% y después de 92% para la toda la flota, teniendo en cuenta el precio de 76.5 y 112.5 dólares por hora para los tractores D8T y D9T respectivamente. De esto se obtuvo un ingreso estimado de 260235.41 dólares anuales.

Para realizar los cálculos de ingreso, se establecieron los costos de alquiler de acuerdo a la tabla N° 25.

EQUIPO	ALQUILER / HR
D8T	\$ 76.50
D9T	\$ 112.50
D10T	\$ 148.50

Tabla N° 25. Precio de alquiler de tractores D8T, D9T y D10T

Fuente: MUR - WY SAC, lista completa en anexo 08

Con los valores antes calculados, se procedió a determinar la viabilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta una tasa de 15%, la que utiliza la empresa internamente para evaluar una implementación, y un tipo de cambio de 4.101 soles, a fecha 10/09/2021.

PERIODO	INVERSIÓN	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO CAJA
AÑO 00	\$ -22,000.00			\$ -22,000.00
AÑO 01		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 02		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 03		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 04		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 05		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 06		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 07		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 08		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 09		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85
AÑO 10		\$ -200,201.56	\$ 260,235.41	\$ 60,033.85

INVERSIÓN	\$ 22,000.00
TASA	15.00%
VAN	\$ 279,296.01
TIR	272.88%
B/C	1.27

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Tabla N° 26. Validación económica

Fuente: Autor

De la validación económica, a un plazo de 10 años, se obtuvo un VAN de 279,296.01 dólares, una TIR de 272.88% y un B/C de 1.27.

Entonces:

- VAN es mayor a 0, entonces el proyecto es rentable.
- TIR es mayor a la tasa establecida de 15%, entonces el proyecto es rentable.
- B/C es mayor a 1, entonces el proyecto es rentable.

Como se aprecia en los 3 indicadores financieros utilizados para evaluar la inversión, obtenemos como resultado que el proyecto es rentable.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo al diagnóstico del problema, se encontró mediante el análisis de los datos históricos, que la condición inicial de los 12 tractores representaba una disponibilidad promedio de 88.53% durante el año 2019, lo que está por debajo del objetivo de disponibilidad de 90%, que requiere la empresa como mínimo para poder cumplir con las distintas tareas que tienen los tractores, y como trabajo principal la construcción de los diques de la presa de relaves.

Debido a esto, se decidió mejorar el plan de mantenimiento, utilizando como base la metodología RCM, que se enfoca en mantener las funciones de los sistemas de los equipos, lo que contribuye a incrementar la disponibilidad de los equipos como se indica en un estudio (Correa & Dias, 2016), que plantea el uso de indicadores para establecer un modelo matemático que se implementó computacionalmente. El modelo plantea la integración del RCM, en línea con los resultados económicos del negocio, para obtener una mayor disponibilidad y confiabilidad en los equipos. En este punto concuerda el presente estudio, en lograr el incremento de la disponibilidad mediante el uso de la metodología RCM.

También se identificó que es necesario tener una base de datos establecida, de acuerdo a estándares como ISO 14224 (ISO, 2016), para luego realizar un análisis de donde se obtengan resultados ordenados y confiables, como se indica en otro estudio (Gasca, Camargo, & Medina, 2017), donde se analizaron los historiales de mantenimiento y luego se modeló la confiabilidad que alcanzan los equipos con el uso de métodos de distribución como Weibull, para determinar el tiempo medio entre fallas. Aplicaron el estudio en una empresa recicladora de plástico, determinando a la extrusora como equipo crítico.

De todo esto, lograron determinar el tiempo medio de fallas de manera dinámica y automática, al utilizar el historial de las fallas. Al desarrollar esta interfaz se incrementó la usabilidad del sistema porque recopila en una misma plataforma, todos los registros de los datos. En este punto difieren con el presente estudio, que se basó en la metodología Pareto para

identificar los equipos críticos, pero concuerda en que es necesario el análisis estadístico para determinar la efectividad del plan de mantenimiento, que en este estudio se aplicó la distribución T-Student, para determinar la viabilidad de la implementación del plan de mantenimiento.

Como se pudo apreciar en los resultados finales del estudio, se logró incrementar la disponibilidad de los 2 equipos de un 88.53% a un 96.5%, con lo que se sobrepasó el objetivo de 90%, lo que indica que la aplicación del plan de mantenimiento influyó en el incremento, como en el caso de otro estudio (Caceres & León, 2017), donde se implementó un plan de mantenimiento para una flota de 18 camiones mineros Caterpillar 793F, con el fin de incrementar el tiempo que operan los camiones, y así mantener la continuidad del proceso. Utilizando los siguientes indicadores de mantenimiento, disponibilidad, confiabilidad, TPEF, TPPR; y aplicando el MCC, lograron mejorar la Confiabilidad de la Flota de Volquetes 793F en un 13.01% y la disponibilidad en 4.82%.

De igual manera en otro estudio (Muñoz & Carrillo, 2015), donde se implantó un plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad en las maquinarias de la empresa RECOLSA S.A, teniendo en cuenta las capacitaciones al personal y apoyo conjunto de las demás áreas de la organización, mejorando así la confiabilidad y reduciendo costos por mantenimiento, obteniendo un aumento en sus indicadores, 16.5% para la Disponibilidad y 16.89% para la confiabilidad, estos datos los obtuvieron del total de la planta durante un periodo de estudio de 39104 horas de producción, corroborando que al implementar un plan de mantenimiento, se logra incrementar la rentabilidad, enfocándose en el cuidado de los equipos.

Los estudios concuerdan con la presente tesis en el incremento de la disponibilidad, que en este caso se incrementó en un 7.97% para los tractores D8T-3 y D9T-1 que se tomaron para el estudio, de igual modo, con que es necesario la capacitación del personal para poder lograr los objetivos de la implementación del plan de mantenimiento, de esta manera

también se tiene motivado y comprometido al personal con las actividades de mantenimiento que realiza en la empresa.

Como se desarrolló en el presente estudio, el análisis de los sistemas críticos es fundamental para realizar aplicar la metodología RCM, de acuerdo a esto, es posible utilizar el AMEF para poder determinar los fallos potenciales que pueden presentarse en los sistemas y que pueden afectar a las funciones que estos desempeñan.

Como se presenta en otro estudio (Gasca, Camargo, & Medina, 2017), donde se una la estrategia AMEF para estandarizar el análisis de las fallas potenciales y elaborar un catálogo de fallas didáctico, a donde todos los involucrados puedan tener acceso para poder reconocer las principales fallas de los sistemas y anticipar las actividades de mantenimiento que serán necesarias para evitar las fallas prematuras. En este punto concuerda con el presente estudio, donde se utilizó el AMEF para reconocer los posibles modos de falla y determinar las actividades de mantenimiento necesarias para evitar que se materialicen.

De acuerdo a los estudios consultados durante la elaboración del presente estudio, la metodología RCM no es la única que se puede aplicar para mejorar la disponibilidad, existen otras metodologías como es el caso del ACR, TPM, CBM, como se aprecia en otros estudios (Chata, 2021), (Cordero & Estupinan, 2018), (Fernandez, 2018); donde también se comprueba que aplicar otra metodología impacta en el resultado final de la disponibilidad.

Del mismo modo, no hay una sola manera de identificar la criticidad de los equipos involucrados en el estudio, hay distintas estrategias que permiten determinar la criticidad de los equipos, por ejemplo, analizando el impacto que tienen los equipos al fallar, en las distintas ramas, como es el caso de la operación, la rentabilidad, la seguridad del operador, la probabilidad de dañar la propiedad de la empresa y otros.

Como el caso de este estudio que se utilizó el principio de Pareto, que

determina la criticidad por el 80-20, que establece que el 80% de los problemas son causados por el 20% de las fallas, también es posible establecer el rango 70-30, y en otros estudio (Gasca, Camargo, & Medina, 2017), para determinar la criticidad, se tuvo en cuenta el impacto que tienen los equipos en la operación general, y como repercuten en la rentabilidad.

Como se aprecia, la metodología a utilizar depende de los objetos del estudio, la preparación de las personas involucradas y el compromiso de las demás áreas de la empresa, de este modo es posible seleccionar la metodología, puede ser RCM o TPM por ejemplo, pero el objetivo siempre es el mismo, mejorar la disponibilidad de los equipos involucrados, como se demuestra en los estudios anteriores, y el presente estudio, que es posible incrementar la disponibilidad mediante la aplicación de estas metodologías, pero obtener este resultado, depende del compromiso del personal involucrado.

VI. CONCLUSIONES

Después de haber obtenido resultados favorables durante el desarrollo de la presente investigación, se pueden establecer las siguientes conclusiones.

i) Se logró evaluar la condición inicial de los equipos, mediante el análisis de los datos históricos y reportes de mantenimiento, llegando a establecer una base de datos, con la que se pudo determinar una disponibilidad inicial de los equipos de 88.53%, que se encontraba por debajo del objetivo deseado de 90% para este indicador.

ii) Se identificaron los equipos por la disponibilidad que presentaban, de acuerdo a esto se estableció seleccionar como críticos los equipos con menor disponibilidad, dando como resultado los tractores D8T-3 y D9T-1.

iii) Se logró reconocer las principales fallas que se tuvieron en los equipos críticos, esto fue fundamental para determinar las fallas que impactaron más en la disponibilidad de los equipos y darles prioridad durante el análisis.

iv) Se realizó el análisis de modos y efectos de falla (AMEF), teniendo en cuenta los sistemas más críticos de los equipos del estudio, D8T-3 y D9T-1, determinado la prioridad de cada efecto de falla y enfocando de esta manera, mediante el número de prioridad de riesgo (NPR), las actividades necesarias para el plan de mantenimiento, y así evitar que los modos de falla se materialicen e impacten en la disponibilidad de los equipos.

v) Se diseñó un plan de mantenimiento, basado en el plan propuesto por el fabricante, adicionando tareas y modificando las frecuencias de acuerdo a las fallas encontradas en el entorno de trabajo de los equipos, mediante el análisis de las fallas principales en el AMEF, dando como resultado después de su aplicación una disponibilidad de 96.5%, un incremento de 7.97%, con respecto a la disponibilidad total de la flota del año 2019.

vi) Se logró validar estadísticamente, mediante la distribución T-Student, los efectos que tuvo el plan de mantenimiento en la disponibilidad de los tractores D8T-3 y D9T-1, obteniendo el rechazo de H_0 y validando H_1 , lo que afirma el incremento de la disponibilidad en los equipos después de

aplicar el plan de mantenimiento.

vii) Se verificó la viabilidad económica para la implementación del plan de mantenimiento en el resto de tractores de la flota, teniendo como referencia los indicadores VAN, TIR y B/C en un lapso de 10 años, obteniendo como resultado un VAN de 279296.01 dólares, una TIR de 272.88% y un B/C de 1.27, lo que justifica la rentabilidad de la implementación del plan de mantenimiento.

VII. RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos, se recomienda implementar el plan de mantenimiento en toda la flota de tractores D8T y D9T, con el fin de incrementar la disponibilidad de todos los equipos.

Mantener actualizados los formatos utilizados en las actividades de mantenimiento, de acuerdo al seguimiento de las tareas que se realicen, con el objetivo de obtener información de calidad para los historiales de fallas.

Realizar el análisis de los componentes críticos en cada equipo, para poder plantear estrategias de mantenimiento que puedan extender la vida útil de los mismos.

Elaborar un plan de capacitación técnica para el personal de mantenimiento, con el propósito de tener personal calificado para realizar cada actividad, como parte de motivación por parte de la empresa.

Migrar a un software estadístico o CMMS, con el fin de obtener un análisis en tiempo real del estado de la flota, disponibilidad, componentes críticos, fallas frecuentes, etc, de esta información se puede tomar decisiones para optimizar el plan de mantenimiento.

Realizar un estudio sobre el impacto que tiene el trabajo de un tractor en relave, en comparación de un tractor en tajo de mina, con el objetivo de proponer mejoras tecnológicas de acuerdo al ambiente de trabajo de los equipos.

REFERENCIAS

- Afonso, M. (2020). Analysis of maintenance policies supported by simulation in a flexible manufacturing cell. *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, 28(2), 293-303. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200293>
- Araujo, E. (2016). *Influencia de la confiabilidad en los incidencias de la flota de tractores JD MF 291*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio UNITRU: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9266>
- Ayala, E., & Jimenez, E. (2016). *Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento del sistema de almacenamiento y despacho de GNL*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio UPC: <http://hdl.handle.net/10757/619075>
- Benítez, R., Díaz, A., Cabrera, J., García, O., & Maura, A. (2016). Assessment of components of operational reliability in walk-in freezer. *Ingeniería Mecánica*, 19(2), 78-84. doi:ISSN 1815-5944
- Caceres, R., & León, A. (2017). *Aplicación de la gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la flota de camiones de acarreo Caterpillar 793F de una compañía minera para el mejoramiento de la confiabilidad operacional*. Recuperado el 06 de 05 de 2021, de Repositorio UNS: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2803>
- Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM) Considering Equipment Taxonomy, Data Bases and Effects Criticality. *Científica*, 23, 51-59. doi:ISSN 2594-2921
- Castro, M. (2017). *Método basado en RCM, para la gestión de mantenimiento en tractores agrícolas: caso Municipalidad Distrital de Colquepata*. Recuperado el 21 de 09 de 2021, de Repositorio de la UNSA: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5336>
- Cavassin, C., Silva, E., Soares, H., Magalhaes, G., & Paccola, J. (2020). Comparative Analysis of Maintenance Models in Forest Machines. *Floresta Ambient*, 27(n). doi:<https://doi.org/10.1590/2179-8087.099417>
- Chata, C. (2021). *Propuesta de un plan de mantenimiento basado en el riesgo para el sub sistema de distribución secundaria en 220 V del distrito de*

- Gregorio Albarracín Tacna. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio UNAP: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14842>
- Consuegra, F., Díaz, A., Cruz, A., Benitez, R., Castillo, A., & Rodriguez, A. (2017). Diseño del Método de disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 20(3), 122-128. doi:ISSN 1815-5944
- Cordero, O., & Estupinan, E. (2018). Propuesta de optimización del mantenimiento de planta minera de cobre ministro hales, mediante análisis de confiabilidad, utilizando la metodología FMECA. *Inv. y Des.*, 18(1), 129-142. doi:ISSN 2518-4431
- Correa, R., & Dias, A. (2016). Modelagem matemática para otimização de periodicidade nos planos de manutenção preventiva. *Gest. Prod.*, 23(2), 267-278. doi:<https://doi.org/10.1590/0104-530x2001-15>
- Crespo, G., Pérez, I., Padrón, A., García, Z., & Cabrera, J. (2019). Revisión de la asignación de interruptores en la reconfiguración de redes de distribución para maximizar la confiabilidad y minimizar los costos. *Universidad y Sociedad*, 14(3), 379-396. doi:<https://doi.org/10.21919/remef.v14i3.410>
- Díaz, A., Castillo, A., & Villar, L. (2017). Instrumento para evaluar el estado de la gestión de mantenimiento en plantas de bioproductos: Un caso de estudio. *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, 25(2), 306-313. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000200306>
- Díaz, A., Villar, L., Cabrera, J., Salvador, A., Mata, R., & Rodriguez, A. (2016). Implementación del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad en empresas de transmisión eléctrica. *Ingeniería Mecánica*, 137-142. Recuperado el 09 de 06 de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000300003
- Díaz, A., Villar, L., Rodriguez, A., Castillo, A., & Cabrera, J. (2018). Análisis bibliográfico de la confiabilidad operacional en sistemas técnicos complejos. *Ingeniería Mecánica*, 21(2), 77-81. doi:ISSN 1815-5944
- Díaz, R., & De la Paz, E. (2016). Procedimiento para la planeación integrada Producción - Mantenimiento a nivel táctico. *Ing. Ind.*, 37(1), 49-58. doi:ISSN 1815-5936

- Duran, I., Rosero, L., Pavas, A., & Duarte, O. (2015). Comparison of maintenance scheme effects on power transformer reliability performance. *Ing. Investig*, 35(1), 73-81. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v35n1Sup.53435>
- Erribari, D., & Salazar, C. (2019). *Business Intelligence para mantenimiento correctivo de Avitel Servicios Generales para una empresa de rubro telecomunicaciones*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio UPC: <http://hdl.handle.net/10757/626720>
- Fernandez, E. (2018). *Gestión de mantenimiento: Lean maintenance y TPM*. Recuperado el 06 de 05 de 2021, de Escuela Superior de la Marina Civil de Gijón. España: Universidad de Oviedo: <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20y%20TPM.pdf;jsessionid=6966E4C4D5E3F164759D3ED320C9711B?sequence=1>
- Ford Motor Company. (2011). *FMEA Handbook Version 4.2*. Ford Motor Company. Recuperado el 10 de 07 de 2021, de <https://fsp.portal.covisint.com/documents/106025/14555722/FMEA+Handbook+v4.2/4c14da5c-0842-4e60-a88b-75c18e143cf7?version=1.0>
- Gasca, M., Camargo, L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Inf. tecnol.*, 28(4), 111-124. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000400014>
- Goncalves, F., & Trabasso, L. (2018). Aircraft Preventive Maintenance Data Evaluation Applied in Integrated Product Development Process. *J. Aerosp. Technol. Manag.*, 10, 1718. doi:<https://doi.org/10.5028/jatm.v10.706>
- Gondres, I., Lajes, S., & Del Castillo, A. (2016). Evaluación de la confiabilidad en interruptores de potencia mediante la norma Norsok Z-013. *Ingeniare. Rev. chil. ing.*, 24(2), 198-205. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052016000200003>
- Guerra, E., & Oca, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Bol. cienc. tierra*(45), 14-21. doi:<https://doi.org/10.15446/rbct.n45.68711>
- Hernández, P. (2021). *Mejora de los procesos de una empresa de la industria publicitaria, mediante la aplicación de herramientas de Lean Manufacturing*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio PUCP:

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/19612>

- Herrera, M., Rodriguez, A., & Martinez, E. (2018). A new approach for strategic maintenance management based on soft-computing generics algorithms. *Ingeniería Mecánica*, 21(2), 101-107. doi:ISSN 1815-5944
- Huaranca, M., & Calatayud, J. (2021). *El factor de carga y la termografía para simplificar el mantenimiento predictivo de las subestaciones eléctricas de distribución de la ciudad de Juliaca*. Recuperado el 20 de 09 de 2021, de Repositorio UNAP: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14754>
- ISO. (2016). *Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de ISO 14224:2016: <https://www.iso.org/standard/64076.html>
- Lean Solutions. (12 de 02 de 2019). *FMEA – Failure Mode and Effect Analysis*. Recuperado el 14 de 08 de 2021, de Lean Solutions: <https://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>
- Muñoz, E., & Carrillo, J. (2015). *Reducción de costos a través de la implantación de un plan de mantenimiento total para garantizar la fiabilidad de los equipos de la empresa Recolsa S.A – Cajamarca 2015*. Universidad Cesar Vallejo. Tesis. Recuperado el 05 de 06 de 2021
- OREDA Participants. (2002). *Offshore Reliability Data Handbook (OREDA)* (4th ed.). (O. Participants, Ed.) Noruega: Det Norske Veritas (DNV). Recuperado el 12 de 08 de 2021
- SAE. (2009). *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*. Recuperado el 12 de 08 de 2021, de JA1011: https://www.sae.org/standards/content/ja1011_200908/
- SAE. (2009). *Potential Failure Mode and Effects Analysis*. Recuperado el 06 de 05 de 2021, de SAE J1739: https://www.sae.org/standards/content/j1739_200901/
- SAE. (2011). *A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard*. Recuperado el 11 de 07 de 2021, de JA1012: https://www.sae.org/standards/content/ja1012_201108/
- Tasilla, S. (2016). *Plan de Mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar*

la disponibilidad de la Maquinaria pesada. Recuperado el 21 de 09 de 2021, de Repositorio UCV:

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/10088>

Vasquez, J. J. (2019). *Implementación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad a excavadoras Caterpillar 336D2L*. Recuperado el 21 de 09 de 2021, de Repositorio PIRHUA:

<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4235>

Vishnu, C., & Regikumar, V. (2016). Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study. *Procedia Technology*, 25, 1080-1087. doi:<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211>

Yang, T., Qinqyou, L., Jiajia, J., Yan, Y., & Zhengwei, Z. (01 de 01 de 2017). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy*, 118, 1295-1303.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>

Zegarra, J. (2016). Preventive Maintenance Plan Based on the Criticality of Biomedical Teams Sánchez Ferrer Clinic, to increase the Reliability. *Innovación en Ingeniería*. Recuperado el 06 de 05 de 2021, de

<http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/INNOVACION/article/view/1013>

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de Operacionalización

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE INDEPENDIENTE: MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad: es un conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que se genera mediante intervalos de tiempo que son establecidos o con un número de unidades de funcionamiento, con tendencia a prevenir las fallas o paros imprevistos (García O., 2012, pág. 55).	El mantenimiento centrado en la confiabilidad es ejecutado al analizar los puntos críticos de los equipos de un determinado sistema, para poder realizar los trabajos de mantenimiento es necesario planificar y asignar las tareas, siendo evaluadas por un sistema de control. Así se mejora el funcionamiento del equipo y alargan el periodo de tiempo de vida útil.	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS	$MTBF = \frac{TIEMPO\ TOTAL\ OPERACIÓN}{N^{\circ}\ FALLAS}$	RAZÓN (HORAS)
			TIEMPO MEDIO ENTRE REPARACIONES	$MTTR = \frac{TIEMPO\ TOTAL\ PARADAS}{N^{\circ}\ FALLAS}$	RAZÓN (HORAS)
VARIABLE DEPENDIENTE: DISPONIBILIDAD	Disponibilidad: Probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento requerido; que es cociente entre tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada, una vez obtenida el resultado se divide entre el tiempo total del periodo considerado (Gonzales J., 2015 p. 91)	La disponibilidad se da en la medida en que los equipos estén en operación constante, a través del tiempo de uso establecido y la mantenibilidad que es el tiempo de reparación, durante el tiempo de uso.	DISPONIBILIDAD	$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$	RAZÓN (%)

ANEXO 02: Lista de Tractores de Flota

ITEM	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	CÓDIGO	AÑO FAB.
1	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-1	2012
2	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-2	2012
3	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-3	2014
4	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-4	2014
5	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-5	2016
6	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-6	2016
7	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-7	2017
8	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D8T	J8B	D8T-8	2017
9	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-1	2017
10	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-2	2017
11	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-3	2017
12	TRACTOR DE ORUGAS	CATERPILLAR	D9T	TWG	D9T-4	2017

ANEXO 03: Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

TÉCNICA	USO	INSTRUMENTO
Análisis documental	Establecer la Base de Datos de los historiales de falla en los equipos	Registros de trabajos realizados, Hoja de Cálculo
Cálculo de Disponibilidad	Determinar los equipos con menor disponibilidad, esto sirve como base para seleccionar los equipos críticos	MTBF , MTTR
MCC	Analizar los modos y efectos de fallas en los equipos críticos, para determinar las tareas de mantenimiento y la frecuencia de ejecución.	AMEF (Plantillas, Formatos), Gráfico Pareto, Hoja de Cálculo

ANEXO 04: Base de Datos de mantenimientos en los tractores

OT	AÑO	MES	FECHA	TURNO	EQUIPO	HORA DE PARADA	HORA DE ENTREGA	HORAS INOP.	HOROMETRO PARADA	TIPO DE PARADA	TIPO DE INTERVENCIÓN	SISTEMA	SUB-SISTEMA	COMPONENTE
1944	2018	ABRIL	21/04/2018	D	D8T-3	07:00:00 a.m.	07:50:00 a.m.	0.83	21432.6	P	MP	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	VENTILADOR DE CABINA
1954	2018	ABRIL	22/04/2018	N	D9T-1	12:01:00 a.m.	12:01:00 a.m.	24.00	41128	P	MP	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	MOTOR DE DIRECCION
-	2018	ABRIL	23/04/2018	D	D8T-3	04:30:00 p.m.	06:30:00 p.m.	2.00	21472	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
1969	2018	ABRIL	25/04/2018	N	D8T-3	07:00:00 p.m.	08:00:00 p.m.	1.00	21510	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
1972	2018	ABRIL	25/04/2018	D	D8T-3	08:00:00 a.m.	08:30:00 a.m.	0.50	21510	NP	MC	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
-	2018	ABRIL	30/04/2018	D	D8T-3	10:30:00 a.m.	01:00:00 p.m.	2.50	-	NP	MC	SIST._MOTOR	ENFRIAMIENTO	GR. DE RADIADOR
2044	2018	MAYO	04/05/2018	N	D8T-3	07:00:00 p.m.	09:00:00 p.m.	2.00	21678	P	MC	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2059	2018	MAYO	06/05/2018	N	D8T-3	09:00:00 p.m.	12:00:00 a.m.	3.00	21725.6	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2060	2018	MAYO	07/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	21725.6	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2061	2018	MAYO	08/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	21725.6	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2062	2018	MAYO	09/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	21725.6	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2064	2018	MAYO	10/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	09:30:00 p.m.	21.50	21726	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2086	2018	MAYO	13/05/2018	D	D8T-3	09:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.	2.00	21764.3	NP	MC	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA

-	2018	MAYO	13/05/2018	D	D8T-3	08:00:00 p.m.	12:00:00 a.m.	4.00	21771.5	NP	MC	SIST._CHASIS Y ESTRUCTURA	CHASIS Y ESTRUCTURA	GUARDAS Y PANELES
2148	2018	MAYO	14/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	06:30:00 p.m.	18.50	21771.5	NP	MC	SIST._CHASIS Y ESTRUCTURA	CHASIS Y ESTRUCTURA	GUARDAS Y PANELES
2126	2018	MAYO	19/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2175	2018	MAYO	21/05/2018	D	D8T-3	02:30:00 p.m.	05:30:00 p.m.	3.00	21831.9	NP	MC	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
-	2018	MAYO	21/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	-	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
-	2018	MAYO	22/05/2018	D	D8T-3	04:30:00 p.m.	05:30:00 p.m.	1.00	-	NP	MC	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
-	2018	MAYO	22/05/2018	D	D8T-3	06:30:00 p.m.	12:00:00 a.m.	5.50	-	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
-	2018	MAYO	22/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	-	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2164	2018	MAYO	23/05/2018	D	D8T-3	07:10:00 a.m.	07:40:00 a.m.	0.50	21839	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2185	2018	MAYO	23/05/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	03:00:00 p.m.	15.00	21839.4	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2186	2018	MAYO	23/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BASTIDORES
-	2018	MAYO	24/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	-	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BASTIDORES
-	2018	MAYO	25/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	-	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BASTIDORES
2205	2018	MAYO	26/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2213	2018	MAYO	27/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2229	2018	MAYO	28/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._HIDRAULICO	FILTROS Y LUBRICANTES HYD	OTROS-DESCRIBE
-	2018	MAYO	29/05/2018	N	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	-	P	MP	SIST._HIDRAULICO	FILTROS Y LUBRICANTES HYD	OTROS-DESCRIBE

2241	2018	MAYO	30/05/2018	D	D8T-3	11:30:00 a.m.	01:30:00 p.m.	2.00	21960.5	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2243	2018	MAYO	30/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2260	2018	MAYO	31/05/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	#¡REF!	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2269	2018	JUNIO	01/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2282	2018	JUNIO	02/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2289	2018	JUNIO	03/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2303	2018	JUNIO	04/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2314	2018	JUNIO	05/06/2018	D	D8T-3	04:00:00 p.m.	04:45:00 p.m.	0.75	22062	NP	MC	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	VENTILADOR DE CABINA
2317	2018	JUNIO	05/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2319	2018	JUNIO	06/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2332	2018	JUNIO	07/06/2018	D	D8T-3	07:30:00 a.m.	08:30:00 a.m.	1.00	22093.8	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2327	2018	JUNIO	07/06/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	09:00:00 p.m.	21.00	41121.7	P	MP	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	OTROS-DESCRIBE
2343	2018	JUNIO	08/06/2018	D	D8T-3	08:40:00 a.m.	09:20:00 a.m.	0.67	22113.8	NP	MC	SIST._IMPLEMENTOS	IMPLEMENTOS	BRAZO DE EMPUJE
2338	2018	JUNIO	08/06/2018	D	D9T-1	07:00:00 a.m.	10:00:00 a.m.	3.00	41124.7	P	MP	SIST._TREN DE RODAJE	TREN DE RODAJE	BARRA COMPENSADORA
2339	2018	JUNIO	08/06/2018	N	D9T-1	09:50:00 p.m.	10:30:00 p.m.	0.67	41134.7	NP	MC	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	ASIENTO
2359	2018	JUNIO	10/06/2018	N	D9T-1	07:20:00 p.m.	08:50:00 p.m.	1.50	41134.7	NP	MC	SIST._CABINA	CABINA DEL OPERADOR	ASIENTO
2371	2018	JUNIO	11/06/2018	D	D8T-3	05:00:00 p.m.	09:00:00 p.m.	4.00	22167	NP	MC	SIST._HIDRAULICO	LINEAS Y TANQUE	MANGUERAS
2387	2018	JUNIO	13/06/2018	N	D9T-1	11:15:00 p.m.	12:15:00 a.m.	1.00	41193.7	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2388	2018	JUNIO	14/06/2018	D	D8T-3	09:30:00 a.m.	12:00:00 a.m.	14.50	22212	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2400	2018	JUNIO	15/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22212	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER

2401	2018	JUNIO	16/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22213	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2402	2018	JUNIO	17/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22213	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2403	2018	JUNIO	18/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	01:00:00 p.m.	13.00	22213	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2403	2018	JUNIO	18/06/2018	D	D8T-3	01:00:00 p.m.	12:00:00 a.m.	11.00	22213	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2404	2018	JUNIO	19/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	09:00:00 p.m.	21.00	22214	P	MP	SIST._HERRAMIENTAS	HERRAMIENTAS	BULLDOZER
2405	2018	JUNIO	19/06/2018	D	D8T-3	09:00:00 p.m.	12:00:00 a.m.	3.00	22214	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2405	2018	JUNIO	20/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	04:00:00 p.m.	16.00	22215	NP	MC	SIST._ELECTRICO_ELECTRONICO	CONTROL ELECTRICO - ELECTRONICO	OTROS-DESCRIBE
-	2018	JUNIO	21/06/2018	D	D8T-3	10:00:00 a.m.	12:00:00 a.m.	14.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUERZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2488	2018	JUNIO	22/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUERZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2475	2018	JUNIO	23/06/2018	N	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUERZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2481	2018	JUNIO	23/06/2018	N	D9T-1	10:40:00 p.m.	12:00:00 a.m.	1.33	41296	NP	MC	SIST._MOTOR	COMBUSTIBLE	GR. DE BOMBA DE TRANSFERENCIA
2490	2018	JUNIO	24/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUERZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
-	2018	JUNIO	24/06/2018	D	D9T-1	10:00:00 a.m.	10:20:00 a.m.	0.33	-	NP	MC	SIST._MOTOR	COMBUSTIBLE	GR. DE BOMBA DE TRANSFERENCIA
2501	2018	JUNIO	25/06/2018	N	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUERZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE

2511	2018	JUNIO	26/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._ELECTRICO_EL ELECTRONICO	CONTROL ELECTRICO - ELECTRONICO	ECM DE TRANSMISION
2516	2018	JUNIO	27/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2525	2018	JUNIO	28/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._ELECTRICO_EL ELECTRONICO	CONTROL ELECTRICO - ELECTRONICO	ECM DE IMPLEMENTOS
-	2018	JUNIO	30/06/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2543	2018	JUNIO	30/06/2018	D	D9T-1	04:30:00 p.m.	06:30:00 p.m.	2.00	41381	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2550	2018	JULIO	01/07/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2246	2018	JULIO	01/07/2018	D	D9T-1	07:00:00 a.m.	01:00:00 p.m.	6.00	41381	P	MP	SIST._MAQUINA BASICA	MAQUINA BASICA	MAQUINA GENERAL
2555	2018	JULIO	02/07/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2552	2018	JULIO	02/07/2018	D	D9T-1	03:30:00 p.m.	12:00:00 a.m.	8.50	41404.6	NP	MC	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	GR. DE MANDO- VENTILADOR
-	2018	JULIO	03/07/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2559	2018	JULIO	03/07/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41404.6	NP	MC	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	GR. DE MANDO- VENTILADOR
2570	2018	JULIO	04/07/2018	D	D8T-3	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	22218	NP	MC	SIST._TREN_DE_FUE RZA	TRANSMISION	OTROS-DESCRIBE
2568	2018	JULIO	04/07/2018	D	D9T-1	12:00:01 a.m.	12:00:00 a.m.	24.00	41404.6	NP	MC	SIST._MOTOR	MOTOR BASICO	GR. DE MANDO- VENTILADOR

ANEXO 05: Cálculo de Disponibilidad

EQUIP	AÑ	MES	TM	T DISF	T FALI	N° FALLA	MTBF	MTRR	DISPONIBILIDA	TDISP
D8T-1	2018	ABRIL	0	720	5	3	238	2	99.32%	715
D8T-2	2018	ABRIL	0	720	18	5	140	4	97.51%	702
D8T-3	2018	ABRIL	4	716	3	2	357	2	99.58%	713
D8T-4	2018	ABRIL	0	720	44	4	169	11	93.82%	676
D8T-5	2018	ABRIL	39	681	1	1	680	1	99.85%	680
D8T-6	2018	ABRIL	5	716	5	3	237	2	99.35%	711
D9T-1	2018	ABRIL	24	696	0	0	0	0	100.00%	696
D9T-2	2018	ABRIL	90	630	0	1	630	0	99.92%	630
D9T-3	2018	ABRIL	1	719	0	0	0	0	100.00%	719
D9T-4	2018	ABRIL	1	720	0	0	0	0	100.00%	720
D8T-1	2018	MAYO	143	601	38	6	94	6	93.67%	563
D8T-2	2018	MAYO	54	690	63	6	105	10	90.91%	627
D8T-3	2018	MAYO	121	623	28	5	119	6	95.42%	594
D8T-4	2018	MAYO	53	691	22	5	134	4	96.80%	668
D8T-5	2018	MAYO	13	731	29	9	78	3	96.08%	702
D8T-6	2018	MAYO	22	722	62	5	132	12	91.34%	660
D8T-7	2018	MAYO	26	718	3	3	239	1	99.65%	716
D9T-1	2018	MAYO	288	456	0	0	0	0	100.00%	456
D9T-2	2018	MAYO	59	685	8	6	113	1	98.78%	676
D9T-3	2018	MAYO	10	734	55	5	136	11	92.50%	679
D9T-4	2018	MAYO	21	724	61	6	110	10	91.57%	663
D8T-1	2018	JUNIO	55	665	10	5	131	2	98.50%	655
D8T-2	2018	JUNIO	13	707	197	20	25	10	72.12%	510
D8T-3	2018	JUNIO	135	585	227	13	27	17	61.09%	357
D8T-4	2018	JUNIO	14	706	14	3	231	5	98.02%	692
D8T-5	2018	JUNIO	16	705	70	8	79	9	90.06%	635
D8T-6	2018	JUNIO	150	570	38	8	66	5	93.37%	532
D8T-7	2018	JUNIO	88	632	60	10	57	6	90.45%	571
D9T-1	2018	JUNIO	171	549	4	4	136	1	99.30%	545
D9T-2	2018	JUNIO	10	710	6	4	176	1	99.19%	704
D9T-3	2018	JUNIO	67	653	4	2	325	2	99.46%	649
D9T-4	2018	JUNIO	114	606	35	3	190	12	94.26%	571
D8T-1	2018	JULIO	8	736	22	10	71	2	96.96%	713
D8T-2	2018	JULIO	46	698	42	14	47	3	94.05%	657
D8T-3	2018	JULIO	2	742	347	19	21	18	53.19%	395
D8T-4	2018	JULIO	110	634	42	10	59	4	93.40%	592
D8T-5	2018	JULIO	0	744	744	31	0	24	0.00%	0
D8T-6	2018	JULIO	8	737	8	5	146	2	98.85%	728
D8T-7	2018	JULIO	14	730	7	4	181	2	99.09%	724
D9T-1	2018	JULIO	25	719	366	22	16	17	49.03%	352
D9T-2	2018	JULIO	39	705	154	20	28	8	78.11%	550
D9T-3	2018	JULIO	3	742	51	5	138	10	93.10%	690
D9T-4	2018	JULIO	16	728	5	4	181	1	99.36%	723
D8T-1	2018	AGOSTO	74	670	9	7	94	1	98.66%	661
D8T-2	2018	AGOSTO	133	611	67	9	61	7	89.08%	545
D8T-3	2018	AGOSTO	19	725	15	4	178	4	97.98%	710
D8T-4	2018	AGOSTO	39	705	44	10	66	4	93.76%	661
D8T-5	2018	AGOSTO	0	744	710	31	1	23	4.57%	34
D8T-6	2018	AGOSTO	26	718	8	3	237	3	98.86%	710
D8T-7	2018	AGOSTO	65	679	5	3	225	2	99.26%	674
D8T-8	2018	AGOSTO	21	723	2	1	721	2	99.76%	721
D9T-1	2018	AGOSTO	13	731	53	7	97	8	92.76%	678
D9T-2	2018	AGOSTO	3	742	542	27	7	20	26.86%	199
D9T-3	2018	AGOSTO	10	734	11	3	241	4	98.43%	722

EQUIP	AÑO	MES	TM	T DISF	T FAL	Nº FALLA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDA	TDISP
D9T-4	2018	AGOSTO	26	718	1	1	718	1	99.93%	718
D8T-1	2018	SETIEMBRE	10	711	13	3	233	4	98.22%	698
D8T-2	2018	SETIEMBRE	68	652	9	5	129	2	98.57%	643
D8T-3	2018	SETIEMBRE	100	620	7	4	153	2	98.84%	612
D8T-4	2018	SETIEMBRE	45	675	104	12	48	9	84.59%	571
D8T-5	2018	SETIEMBRE	65	655	12	6	107	2	98.21%	643
D8T-6	2018	SETIEMBRE	73	647	54	6	99	9	91.57%	592
D8T-7	2018	SETIEMBRE	43	677	37	4	160	9	94.57%	640
D8T-8	2018	SETIEMBRE	15	705	7	1	698	7	99.03%	698
D9T-1	2018	SETIEMBRE	10	710	11	4	175	3	98.46%	699
D9T-2	2018	SETIEMBRE	2	718	144	15	38	10	79.97%	574
D9T-3	2018	SETIEMBRE	19	702	15	5	137	3	97.85%	686
D9T-4	2018	SETIEMBRE	12	708	32	3	225	11	95.43%	676
D8T-1	2018	OCTUBRE	24	720	161	18	31	9	77.59%	558
D8T-2	2018	OCTUBRE	24	720	27	11	63	2	96.27%	693
D8T-3	2018	OCTUBRE	101	643	14	4	157	4	97.76%	629
D8T-4	2018	OCTUBRE	184	560	87	14	34	6	84.52%	473
D8T-5	2018	OCTUBRE	14	731	1	2	365	1	99.81%	729
D8T-6	2018	OCTUBRE	69	675	15	7	94	2	97.73%	660
D8T-7	2018	OCTUBRE	78	666	5	2	330	2	99.29%	661
D8T-8	2018	OCTUBRE	29	715	19	3	232	6	97.32%	696
D9T-1	2018	OCTUBRE	603	141	0	0	0	0	100.00%	141
D9T-2	2018	OCTUBRE	193	551	38	8	64	5	93.04%	513
D9T-3	2018	OCTUBRE	94	650	76	7	82	11	88.35%	574
D9T-4	2018	OCTUBRE	24	721	89	10	63	9	87.71%	632
D8T-1	2018	NOVIEMBRE	1	719	360	17	21	21	49.87%	359
D8T-2	2018	NOVIEMBRE	42	678	6	5	134	1	99.13%	672
D8T-3	2018	NOVIEMBRE	115	605	112	8	62	14	81.47%	493
D8T-4	2018	NOVIEMBRE	78	642	63	16	36	4	90.17%	579
D8T-5	2018	NOVIEMBRE	16	704	13	3	231	4	98.22%	692
D8T-6	2018	NOVIEMBRE	14	706	286	17	25	17	59.54%	421
D8T-7	2018	NOVIEMBRE	21	699	7	6	115	1	98.97%	692
D8T-8	2018	NOVIEMBRE	18	702	1	1	701	1	99.91%	701
D9T-1	2018	NOVIEMBRE	720	0	0	0	0	0	100.00%	0
D9T-2	2018	NOVIEMBRE	50	670	23	11	59	2	96.51%	647
D9T-3	2018	NOVIEMBRE	17	703	7	4	174	2	99.05%	697
D9T-4	2018	NOVIEMBRE	13	708	247	16	29	15	65.10%	461
D8T-1	2018	DICIEMBRE	10	735	164	8	71	20	77.69%	571
D8T-2	2018	DICIEMBRE	34	711	19	8	87	2	97.40%	692
D8T-3	2018	DICIEMBRE	0	744	744	31	0	24	0.00%	0
D8T-4	2018	DICIEMBRE	50	694	49	15	43	3	92.98%	645
D8T-5	2018	DICIEMBRE	170	574	10	5	113	2	98.24%	564
D8T-6	2018	DICIEMBRE	7	737	15	5	144	3	97.91%	721
D8T-7	2018	DICIEMBRE	61	683	4	4	170	1	99.39%	679
D8T-8	2018	DICIEMBRE	69	675	13	5	132	3	98.04%	662
D9T-1	2018	DICIEMBRE	192	552	64	9	54	7	88.39%	488
D9T-2	2018	DICIEMBRE	92	653	39	7	88	6	93.98%	613
D9T-3	2018	DICIEMBRE	57	688	1	1	687	1	99.85%	687
D9T-4	2018	DICIEMBRE	42	702	8	4	173	2	98.86%	694
D8T-1	2019	ENERO	33	711	2	2	354	1	99.68%	709
D8T-2	2019	ENERO	8	736	31	6	118	5	95.86%	706
D8T-3	2019	ENERO	39	705	234	13	36	18	66.89%	472
D8T-4	2019	ENERO	223	521	26	7	71	4	95.11%	496
D8T-5	2019	ENERO	3	741	2	1	740	2	99.80%	740
D8T-6	2019	ENERO	38	706	0	1	706	0	99.94%	706
D8T-7	2019	ENERO	46	699	6	6	115	1	99.12%	692
D8T-8	2019	ENERO	5	739	6	1	733	6	99.22%	733
D9T-1	2019	ENERO	66	678	138	11	49	13	79.62%	540
D9T-2	2019	ENERO	57	687	14	5	135	3	97.97%	673
D9T-3	2019	ENERO	20	725	84	10	64	8	88.45%	641

EQUIP	AÑO	MES	TM	T DISF	T FALI	N° FALLA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDA	TDISP
D9T-4	2019	ENERO	79	665	17	6	108	3	97.51%	649
D8T-1	2019	FEBRERO	53	619	2	1	617	2	99.64%	617
D8T-2	2019	FEBRERO	49	623	17	12	50	1	97.23%	606
D8T-3	2019	FEBRERO	335	337	16	4	80	4	95.20%	321
D8T-4	2019	FEBRERO	5	667	16	6	109	3	97.68%	652
D8T-5	2019	FEBRERO	25	647	29	7	88	4	95.57%	618
D8T-6	2019	FEBRERO	20	652	16	4	159	4	97.55%	636
D8T-7	2019	FEBRERO	27	646	7	4	160	2	98.97%	639
D8T-8	2019	FEBRERO	36	636	4	4	158	1	99.40%	632
D9T-1	2019	FEBRERO	0	672	261	12	34	22	61.16%	411
D9T-2	2019	FEBRERO	102	570	32	3	179	11	94.39%	538
D9T-3	2019	FEBRERO	18	654	4	2	325	2	99.39%	650
D9T-4	2019	FEBRERO	10	662	15	5	129	3	97.67%	647
D8T-1	2019	MARZO	51	693	2	2	345	1	99.74%	691
D8T-2	2019	MARZO	19	725	71	20	33	4	90.17%	654
D8T-3	2019	MARZO	8	736	443	25	12	18	39.78%	293
D8T-4	2019	MARZO	78	666	19	6	108	3	97.18%	647
D8T-5	2019	MARZO	53	691	8	4	171	2	98.88%	683
D8T-6	2019	MARZO	17	727	27	4	175	7	96.22%	700
D8T-7	2019	MARZO	5	739	3	3	245	1	99.57%	736
D8T-8	2019	MARZO	0	744	686	29	2	24	7.84%	58
D9T-1	2019	MARZO	12	732	129	14	43	9	82.40%	603
D9T-2	2019	MARZO	4	740	301	15	29	20	59.32%	439
D9T-3	2019	MARZO	70	674	14	2	330	7	98.00%	661
D9T-4	2019	MARZO	58	686	29	4	164	7	95.77%	657
D8T-1	2019	ABRIL	27	693	8	3	228	3	98.85%	685
D8T-2	2019	ABRIL	66	654	3	3	217	1	99.52%	650
D8T-3	2019	ABRIL	0	720	720	30	0	24	0.00%	0
D8T-4	2019	ABRIL	26	695	29	3	222	10	95.80%	665
D8T-5	2019	ABRIL	19	701	32	7	96	5	95.49%	669
D8T-6	2019	ABRIL	28	693	10	5	136	2	98.52%	682
D8T-7	2019	ABRIL	51	669	11	3	219	4	98.32%	658
D8T-8	2019	ABRIL	3	717	458	20	13	23	36.09%	259
D9T-1	2019	ABRIL	4	716	517	28	7	18	27.86%	200
D9T-2	2019	ABRIL	20	700	9	3	230	3	98.71%	691
D9T-3	2019	ABRIL	39	681	0	0	0	0	100.00%	681
D9T-4	2019	ABRIL	18	702	15	5	137	3	97.83%	687
D8T-1	2019	MAYO	49	695	30	9	74	3	95.61%	665
D8T-2	2019	MAYO	22	722	25	6	116	4	96.57%	697
D8T-3	2019	MAYO	0	744	731	32	0	23	1.75%	13
D8T-4	2019	MAYO	43	702	38	8	83	5	94.55%	663
D8T-5	2019	MAYO	138	606	7	3	200	2	98.93%	600
D8T-6	2019	MAYO	62	682	33	15	43	2	95.10%	648
D8T-7	2019	MAYO	18	726	8	4	179	2	98.90%	718
D8T-8	2019	MAYO	58	686	7	4	170	2	99.04%	680
D9T-1	2019	MAYO	0	744	744	31	0	24	0.00%	0
D9T-2	2019	MAYO	21	723	6	5	143	1	99.17%	717
D9T-3	2019	MAYO	21	723	3	1	720	3	99.58%	720
D9T-4	2019	MAYO	48	696	10	2	343	5	98.53%	686
D8T-1	2019	JUNIO	31	689	6	5	137	1	99.06%	683
D8T-2	2019	JUNIO	7	713	6	3	236	2	99.16%	707
D8T-3	2019	JUNIO	28	693	72	9	69	8	89.66%	621
D8T-4	2019	JUNIO	25	695	16	4	170	4	97.67%	679
D8T-5	2019	JUNIO	34	686	11	5	135	2	98.35%	674
D8T-6	2019	JUNIO	31	689	17	6	112	3	97.58%	673
D8T-7	2019	JUNIO	62	658	0	0	0	0	100.00%	658
D8T-8	2019	JUNIO	20	700	72	4	157	18	89.75%	628
D9T-1	2019	JUNIO	0	720	720	30	0	24	0.00%	0
D9T-2	2019	JUNIO	85	635	42	9	66	5	93.45%	593
D9T-3	2019	JUNIO	73	647	10	3	212	3	98.44%	637
D9T-4	2019	JUNIO	69	651	11	5	128	2	98.31%	640
D8T-1	2019	JULIO	76	668	0	0	0	0	100.00%	668
D8T-2	2019	JULIO	42	702	9	2	346	5	98.69%	692
D8T-3	2019	JULIO	79	665	157	13	39	12	76.39%	508
D8T-4	2019	JULIO	22	722	24	7	100	3	96.63%	697

EQUIP	AÑO	MES	TM	T DISF	T FALI	N° FALLA	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDA	TDISP
D8T-5	2019	JULIO	87	657	12	4	161	3	98.20%	645
D8T-6	2019	JULIO	79	665	2	2	332	1	99.75%	664
D8T-7	2019	JULIO	66	678	2	3	225	1	99.67%	676
D8T-8	2019	JULIO	6	739	3	2	368	2	99.57%	735
D9T-1	2019	JULIO	0	744	744	31	0	24	0.00%	0
D9T-2	2019	JULIO	29	715	20	10	70	2	97.26%	695
D9T-3	2019	JULIO	110	634	3	2	316	1	99.55%	631
D9T-4	2019	JULIO	32	712	3	2	355	2	99.58%	709
D8T-1	2019	AGOSTO	56	688	14	7	96	2	97.97%	674
D8T-2	2019	AGOSTO	41	703	22	5	136	4	96.81%	680
D8T-3	2019	AGOSTO	71	673	5	2	334	3	99.21%	668
D8T-4	2019	AGOSTO	95	649	39	6	102	6	94.07%	611
D8T-5	2019	AGOSTO	16	728	7	2	360	4	99.02%	721
D8T-6	2019	AGOSTO	27	717	22	3	232	7	97.00%	696
D8T-7	2019	AGOSTO	28	717	1	1	716	1	99.90%	716
D8T-8	2019	AGOSTO	50	694	10	4	171	2	98.60%	685
D9T-1	2019	AGOSTO	0	744	744	31	0	24	0.00%	0
D9T-2	2019	AGOSTO	16	728	23	6	118	4	96.90%	706
D9T-3	2019	AGOSTO	13	731	6	4	181	1	99.19%	725
D9T-4	2019	AGOSTO	99	645	2	1	643	2	99.77%	643
D8T-1	2019	SETIEMBRE	20	700	2	1	698	2	99.74%	698
D8T-2	2019	SETIEMBRE	2	718	22	7	99	3	96.98%	696
D8T-3	2019	SETIEMBRE	23	697	22	3	225	7	96.91%	675
D8T-4	2019	SETIEMBRE	18	702	22	11	62	2	96.88%	680
D8T-5	2019	SETIEMBRE	104	616	3	3	204	1	99.51%	613
D8T-6	2019	SETIEMBRE	47	673	10	4	166	2	98.54%	664
D8T-7	2019	SETIEMBRE	59	662	44	7	88	6	93.35%	618
D8T-8	2019	SETIEMBRE	51	669	9	5	132	2	98.72%	660
D9T-1	2019	SETIEMBRE	23	697	316	17	22	19	54.61%	380
D9T-2	2019	SETIEMBRE	20	700	8	5	139	2	98.91%	693
D9T-3	2019	SETIEMBRE	50	670	2	3	223	1	99.65%	668
D9T-4	2019	SETIEMBRE	16	704	7	2	349	4	99.01%	697
D8T-1	2019	OCTUBRE	4	740	53	7	98	8	92.84%	687
D8T-2	2019	OCTUBRE	3	741	11	8	91	1	98.49%	730
D8T-3	2019	OCTUBRE	86	658	37	7	89	5	94.37%	621
D8T-4	2019	OCTUBRE	33	711	36	10	68	4	95.00%	676
D8T-5	2019	OCTUBRE	30	714	17	6	116	3	97.66%	698
D8T-6	2019	OCTUBRE	29	715	2	2	356	1	99.67%	713
D8T-7	2019	OCTUBRE	14	730	6	4	181	1	99.22%	725
D8T-8	2019	OCTUBRE	107	638	44	11	54	4	93.12%	594
D9T-1	2019	OCTUBRE	26	718	134	19	31	7	81.29%	584
D9T-2	2019	OCTUBRE	26	718	18	5	140	4	97.52%	700
D9T-3	2019	OCTUBRE	57	687	8	6	113	1	98.77%	678
D9T-4	2019	OCTUBRE	17	727	449	19	15	24	38.24%	278
D8T-1	2019	NOVIEMBRE	86	634	20	2	307	10	96.87%	614
D8T-2	2019	NOVIEMBRE	35	685	13	7	96	2	98.13%	672
D8T-3	2019	NOVIEMBRE	5	715	2	1	713	2	99.72%	713
D8T-4	2019	NOVIEMBRE	69	651	59	7	85	8	90.99%	592
D8T-5	2019	NOVIEMBRE	17	703	10	7	99	1	98.56%	693
D8T-6	2019	NOVIEMBRE	98	622	19	7	86	3	96.90%	603
D8T-7	2019	NOVIEMBRE	73	647	5	2	321	2	99.27%	642
D8T-8	2019	NOVIEMBRE	49	671	19	9	72	2	97.11%	652
D9T-1	2019	NOVIEMBRE	12	708	105	8	75	13	85.17%	603
D9T-2	2019	NOVIEMBRE	7	713	70	7	92	10	90.24%	643
D9T-3	2019	NOVIEMBRE	10	710	4	2	353	2	99.45%	706
D9T-4	2019	NOVIEMBRE	0	720	618	26	4	24	14.17%	102
D8T-1	2019	DICIEMBRE	16	728	27	6	117	4	96.36%	702
D8T-2	2019	DICIEMBRE	17	727	42	8	86	5	94.17%	685
D8T-3	2019	DICIEMBRE	40	704	50	7	93	7	92.83%	654
D8T-4	2019	DICIEMBRE	174	570	73	10	50	7	87.11%	497
D8T-5	2019	DICIEMBRE	177	567	8	5	112	2	98.53%	559
D8T-6	2019	DICIEMBRE	272	472	28	9	49	3	94.07%	444

ANEXO 06: AMEF

AMEF - EQUIPO: TRACTOR D8T-3 / SISTEMA: MOTOR HIDRÁULICO																		
CÓD.	FUNCIÓN	CÓD.	FALLA FUNCIONAL	CÓD.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS	G	O	D	NPR	TIPO DE MANTENIMIENTO	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	PERSONAL	G	O	D	NPR
1	DAR MOVIMIENTO A LOS COMPONENTES, ACCIONADO POR 282 L/MIN A 3481 PSI, CON UNA VARIACIÓN DE 5%	A	MOTOR GIRA LENTAMENTE	1	PRESION BAJA EN LOS MANDOS DE OPERACIÓN	RECALIENTAMIENTO DE LOS COMPONENTES INTERNOS DE LA BOMBA	8	3	4	96	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48
				2	DESGASTE EN LOS CONECTORES Y MANGUERAS	PERDIDA DE PRESIÓN POR FUGAS DE ACEITE	7	7	4	196	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	1000 HORAS	2 MECANICOS	7	3	3	63
				3	PERDIDAS DE LAS PROPIEDADES DEL ACEITE	RECALIENTAMIENTO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA	6	3	3	54	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	1000 HORAS	2 MECANICOS	6	2	2	24
				4	PRESENCIA DE AIRE EN EL SISTEMA	CAVITACIÓN DEL SISTEMA, DETERIORO DE COMPONENTES	7	3	4	84	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	1000 HORAS	2 MECANICOS	7	2	3	42
				5	NIVEL BAJO DE ACEITE	CAVITACIÓN DEL SISTEMA, DETERIORO DE COMPONENTES	7	3	4	84	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	1000 HORAS	2 MECANICOS	7	2	3	42
		B	MOTOR NO GIRA	1	VÁLVULAS OBSTRUIDAS	EQUIPO INOPERTIVO	8	3	8	192	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	5	80
				2	DETERIORO EN LOS CABLES Y CONECTORES ELÉCTRICOS	VÁLVULAS NO ACCIONAN	8	3	8	192	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	1 ELECTRICISTA	8	2	5	80

AMEF - EQUIPO: TRACTOR D8T-3 / SISTEMA: TRANSMISIÓN

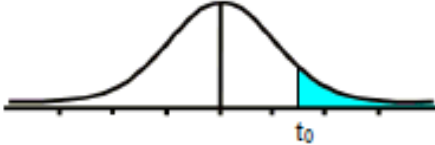
CÓD.	FUNCIÓN	CÓD.	FALLA FUNCIONAL	CÓD.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LAS FALLAS	G	O	D	NPR	TIPO DE MANTENIMIENTO	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	PERSONAL	G	O	D	NPR
1	MANTENER LA PRESIÓN DE ACUERDO A LAS VELICIDADES, CON UNA VARIACIÓN MÁXIMA DE 4%, PRESIÓN DE 375PSI EN LOS EMBRAGUES	A	PRESIÓN POR DEBAJO DE LOS 375PSI	1	EQUIPO INOPERATIVO POR BLOQUEO DE ALARMA	SOLENOIDES BLOQUEAN PASO DE ACEITE	7	3	5	105	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	1 ELECTRICISTA	7	2	4	56
				2	TABLERO BLOQUEADO POR FALLAS ELÉCTRICAS	BLOQUEO DE MANDOS EN FUNCIONAMIENTO	8	3	5	120	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	2000 HORAS	1 ELECTRICISTA	8	2	4	64
				5	NIVEL DE ACEITE BAJO	DETERIORO PREMATURO DE COMPONENTES	8	6	4	192	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	250 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48
				6	PRESIÓN DE ACEITE BAJA	DETERIORO PREMATURO DE COMPONENTES	8	6	4	192	MONITOREO DE CONDICIÓN	PRUEBAS DE PRESIONES	500 HORAS	2 MECANICOS	8	5	3	120
		B	PRESIÓN NORMAL, PERO NO SE DESPLAZA EL EQUIPO	1	NIVEL DE ACEITE BAJO	DETERIORO PREMATURO DE COMPONENTES	8	6	4	192	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	8	5	3	120
				2	TEMPERATURA ELEVADA	DEGRADACIÓN DEL ACEITE	8	5	4	160	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	4	3	96
				3	DESGASTE DE EMBRAGUES	PERDIDA DE POTENCIA	8	5	4	160	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL DE PRESIONES	500 HORAS	2 MECANICOS	8	4	3	96

AMEF - EQUIPO: TRACTOR D8T-3 / SISTEMA: MANDOS FINALES

CÓD.	FUNCIÓN	CÓD.	FALLA FUNCIONAL	CÓD.	MODO DE FALLA	EFECTOS DE LAS FALLAS	G O D NPR				TIPO DE MANTENIMIENTO	ACCIÓN DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	PERSONAL	G O D NPR			
							G	O	D	NPR					G	O	D	NPR
1	GIRAR EL TREN DE RODAMIENTO PARA QUE EL TRACTOR SE DESPLACE	A	MANDOS FINALES GIRAN A BAJA VELOCIDAD	1	DETERIORO EN CONECTORES	PERDIDA DE PRESIÓN POR FUGA DE ACEITE	7	4	5	140	MONITOREO DE CONDICIÓN	ESCANEO DE SISTEMA ECM	1000 HORAS	1 ELECTRIISTA	7	3	4	84
				2	DETERIORO EN SEGMENTOS Y DEMÁS COMPONENTES DEL TREN DE RODAMIENTO	DESGASTE PREMATURO DE COMPONENTES	7	4	6	168	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	250 HORAS	2 MECANICOS	7	3	2	42
				3	DESGASTE EN ENGRANAJES INTERNOS	DESGASTE PREMATURO DE COMPONENTES	7	4	7	196	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	7	3	3	63
				4	DESGASTE DE SELLOS	CONTAMINACIÓN DE ACEITE, DETERIORO DE COMPONENTES	7	4	6	168	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	7	3	3	63
		B	MANDOS FINALES NO GIRAN	1	DESGASTE EN ENGRANAJES INTERNOS	PERDIDA DE CONTACTO ENTRE ENGRANAJES POR DESGASTE	8	3	6	144	MONITOREO DE CONDICIÓN	ANÁLISIS DE ACEITE	250 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48
				2	TEMPERATURA ALTA BLOQUEO POR ALARMA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	BLOQUEO DEL EQUIPO	8	3	4	96	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48
				3	TEMPERATURA ALTA POR PERDIDA DE PROPIEDADES DEL ACEITE	EQUIPO INOPERATIVO	8	3	4	96	MONITOREO DE CONDICIÓN	INSPECCIÓN VISUAL	1000 HORAS	2 MECANICOS	8	2	3	48

ANEXO 07: Tabla T-Student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045

ANEXO 08: Lista de Precios alquiler de Equipos para minería

MINERAS - ARRENDAMIENTO DE EQUIPOS PESADOS

ITEM	C.C.	DESCRIPCIÓN	FLOTA	MARCA	MODELO	HORAS MINIMAS	TARIFA 2021 (\$/hr)
140	OZ.TO.021	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP201046	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
141	OZ.TO.025	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP201536	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
142	OZ.TO.026	TRACTOR ORUGA CAT D8T J8B00925	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
143	OZ.TO.027	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP201435	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
144	OZ.TO.028	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP201122	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
145	OZ.TO.030	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP203956	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
146	OZ.TO.031	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP204075	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
147	OZ.TO.037	TRACTOR ORUGA CAT D8T J8B02727	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
148	OZ.TO.038	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP204114	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
149	OZ.TO.039	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP204117	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
150	OZ.TO.040	TRACTOR ORUGA CAT D8T KP204118	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	285	76.50
151	OZ.TO.042	TRACTOR ORUGA CAT D6T GCT00839	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
152	OZ.TO.043	TRACTOR ORUGA CAT D6T GCT00820	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
153	OZ.TO.044	TRACTOR ORUGA CAT D6T STD GCT00963	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
154	OZ.TO.045	TRACTOR ORUGA CAT D8T STD J8B02904	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50
155	OZ.TO.046	TRACTOR ORUGA CAT D8T STD J8B02896	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50
156	OZ.TO.047	TRACTOR ORUGA CAT D8T J8B02887	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50
157	OZ.TO.048	TRACTOR ORUGA CAT D8T J8B02892	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50
158	OZ.TO.049	TRACTOR ORUGAS CAT D6TXL LAE00621	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
159	OZ.TO.050	TRACTOR ORUGAS CAT D6TXL LAE00619	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
160	OZ.TO.052	TRACTOR ORUGAS CAT D10 RJG04309	Tractor sobre Oruga	CAT	D10T	300	135.85
161	OZ.TO.055	TRACTOR ORUGA CAT D6T SMC00402	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
162	OZ.TO.056	TRACTOR ORUGA CAT D6T S: GCT02569	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
163	OZ.TO.057	TRACTOR ORUGA CAT D6T S: GCT02616	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
164	OZ.TO.058	TRACTOR ORUGA CAT D6T SMC01504	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
165	OZ.TO.059	TRACTOR ORUGA CAT D6T S: GCT02614	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
166	OZ.TO.060	TRACTOR ORUGA CAT D6T S: GCT02570	Tractor sobre Oruga	CAT	D6T	300	50.00
167	OZ.TO.061	TRACTOR ORUGA CAT D8T S: MB800368	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50
168	OZ.TO.062	TRACTOR ORUGA CAT D8T S: MB800374	Tractor sobre Oruga	CAT	D8T	300	76.50