



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LA MAQUINARIA PESADA EN UNA MUNICIPALIDAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Br. Edgar Wilfredo Gutierrez Carranza

Asesor:

Ing. Cesar Enrique Santos Gonzales

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres por haber plantado en mí la semilla de la constancia y la fortaleza de espíritu, a mi hijo Emmanuel y Juana como testimonio del amor que siento y a mi abuelo Enrique (q.e.p.d.) a quien en todo momento tengo presente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todo poderoso por la fe y la templanza que infunde en mí en todo momento.

Al Ing. Cesar Enrique Santos Gonzales por su dedicación y asesoramiento en el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.2. Antecedentes	23
1.2.1. Antecedentes internacionales	21
1.2.2. Antecedentes nacionales	26
1.3. Bases teóricas	32
1.3.1. Maquinaria	32
1.3.2. Mantenimiento	39
1.3.3. Metodología 5S	63
1.4. Definición de términos	67
1.5. Formulación del problema	69
1.6. Objetivos	70
1.6.1. Objetivo general	70

1.6.2. Objetivos específicos	70
1.7. Hipótesis	70
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	71
2.1. Tipo de investigación	71
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	71
2.3. Procedimientos	72
2.3.1. Generalidades de la empresa	72
2.3.2. Diagnóstico del área problemática	77
2.3.3. Matriz de priorización de causas raíz	79
2.3.4. Descripción de causas raíces y monitorización de perdidas	82
2.3.5. Matriz de indicadores	85
2.4. Solución de la propuesta	87
2.4.1. Desarrollo del Plan de Mantenimiento Preventivo	87
2.4.2. Desarrollo del Plan de Capacitación	207
2.4.3. Desarrollo del Plan de Implementación 5S	213
CAPÍTULO III: RESULTADO	245
3.1. Resultados de causas raíces	232
3.2. Calculo de inversiones	237
3.2.1. Inversión en Plan de Mantenimiento Preventivo	237
3.2.2. Inversión en Plan de Capacitación	239
3.2.3. Inversión en Plan de Implementación 5S	240
3.3. Evaluación económica financiera	241
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	245
4.1. Discusión	245
4.1. Conclusiones	246
REFERENCIAS	247
ANEXOS	252

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de maquinaria pesada de una municipalidad	19
Tabla 2. Perdidas 2019 por indisponibilidad de Cargador Frontal marca Caterpillar	20
Tabla 3. Técnicas e instrumentos	71
Tabla 4. Matriz resultado de entrevistas	79
Tabla 5. Matriz de priorización aplicando Pareto	80
Tabla 6. Cálculo de pérdida monetaria de la CR3, CR5 y CR2	82
Tabla 7. Cálculo de pérdida monetaria de la CR4	83
Tabla 8. Cálculo de pérdida monetaria de la CR1	84
Tabla 9. Matriz de indicadores resultantes	85
Tabla 10. Inventario y codificación de la maquinaria pesada	87
Tabla 11. Lista de maquinaria pesada de la municipalidad	88
Tabla 12. Criterios para evaluar el costo de un cargador frontal	89
Tabla 13. Criterios para evaluar el costo de un retroexcavador	90
Tabla 14. Criterios para evaluar el costo de un rodillo	90
Tabla 15. Criterios para evaluar el costo de una motoniveladora	90
Tabla 16. Criterios para evaluar la antigüedad de la maquinaria	91
Tabla 17. Criterios para evaluar los registros de intervenciones de mantenimiento	91
Tabla 18. Criterios para evaluar la exigencia del trabajo de campo	91
Tabla 19. Matriz de priorización de la maquinaria pesada	92
Tabla 20. Maquinaria pesada a priorizar	93
Tabla 21. Especificaciones técnicas del cargador frontal Caterpillar 938G	93
Tabla 22. Criterios para evaluar la frecuencia de fallas	105
Tabla 23. Criterios para evaluar el impacto operacional	105
Tabla 24. Criterios para evaluar la flexibilidad operacional	106
Tabla 25. Criterios para evaluar el costo de mantenimiento	106
Tabla 26. Criterios para evaluar el impacto de seguridad ambiental y humano	106
Tabla 27. Análisis de criticidad del sistema hidráulico	108
Tabla 28. Análisis de criticidad del sistema potencia	110
Tabla 29. Análisis de criticidad del sistema tren de fuerza	114
Tabla 30. Análisis de criticidad del sistema eléctrico	115
Tabla 31. Análisis de criticidad del sistema estructural	117

Tabla 32. Modo de fallas del subsistema levante del sistema hidráulico	118
Tabla 33. Modo de fallas del subsistema dirección del sistema hidráulico	120
Tabla 34. Modo de fallas del subsistema freno del sistema hidráulico	121
Tabla 35. Modo de fallas del subsistema admisión y escape del sistema potencia	122
Tabla 36. Modo de fallas del subsistema refrigeración del sistema potencia	123
Tabla 37. Modo de fallas del subsistema lubricación del sistema potencia	124
Tabla 38. Modo de fallas del subsistema inyección del sistema potencia	125
Tabla 39. Modo de fallas del subsistema distribución del sistema potencia	126
Tabla 40. Modo de fallas del subsistema bloque del sistema potencia	127
Tabla 41. Modo de fallas del subsistema transmisión del sistema tren de fuerza	129
Tabla 42. Modo de fallas del sistema eléctrico	130
Tabla 43. Modo de fallas del sistema estructural	131
Tabla 44. Criterios para evaluar la severidad	132
Tabla 45. Criterios para evaluar la probabilidad de ocurrencia	133
Tabla 46. Criterios para evaluar la probabilidad de no detección	133
Tabla 47. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema levante	134
Tabla 48. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema dirección	136
Tabla 49. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema freno	137
Tabla 50. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema admisión y escape	138
Tabla 51. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema refrigeración	139
Tabla 52. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema lubricación	140
Tabla 53. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema inyección	141
Tabla 54. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema distribución	142
Tabla 55. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema bloque	143
Tabla 56. Análisis modal de fallas y efectos del subsistema transmisión	146
Tabla 57. Análisis modal de fallas y efectos del sistema eléctrico	147
Tabla 58. Análisis modal de fallas y efectos del sistema estructural	148
Tabla 59. Tareas de mantenimiento del sistema hidráulico	150
Tabla 60. Tareas de mantenimiento del sistema potencia	151
Tabla 61. Tareas de mantenimiento del sistema tren de fuerza	154
Tabla 62. Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico	154
Tabla 63. Tareas de mantenimiento del sistema estructural	155
Tabla 64. Componentes muy críticos	156

Tabla 65. Componentes críticos	156
Tabla 66. Componentes semi críticos	157
Tabla 67. Plan de mantenimiento preventivo del cargador frontal Caterpillar 938G	160
Tabla 68. Tiempos de mantenimiento preventivo 1	163
Tabla 69. Tiempos de mantenimiento preventivo 2	163
Tabla 70. Tiempos de mantenimiento preventivo 3	164
Tabla 71. Tiempos de mantenimiento preventivo 4	164
Tabla 72. Tiempos de mantenimiento preventivo 5	165
Tabla 73. Tiempos de mantenimiento preventivo 6	165
Tabla 74. Tiempos de mantenimiento preventivo 7	166
Tabla 75. Tiempos de mantenimiento preventivo 8	167
Tabla 76. Consolidado 2019 de indicadores de gestión de equipo	168
Tabla 77. Datos consolidados para el cálculo de indicadores de gestión de equipo	169
Tabla 78. Consolidado de indicadores de gestión de equipo con el plan	171
Tabla 79. Características de software de mantenimiento	173
Tabla 80. Aplicación de criterios para elección del proveedor de software	174
Tabla 81. Funciones de los colaboradores de la Unidad de Maquinaria y Equipos	207
Tabla 82. Contenido temático para el plan de capacitación propuesto	209
Tabla 83. Cronograma para el plan de capacitación propuesto	211
Tabla 84. Cronograma del plan de implementación 5S	229
Tabla 85. Resultados CR3	231
Tabla 86. Resultados CR5	232
Tabla 87. Resultados CR2	233
Tabla 88. Resultados CR4	234
Tabla 89. Resultados CR1	235
Tabla 90. Inversión CR3	236
Tabla 91. Inversión CR5	237
Tabla 92. Inversión CR2	237
Tabla 93. Inversión CR4	238
Tabla 94. Inversión CR1	239
Tabla 95. TEA productos bancarios	240
Tabla 96. Inversión inicial de la propuesta de mantenimiento preventivo	240
Tabla 97. Flujo de caja proyectado a 5 años	242

Tabla 98. Indicadores financieros de la propuesta de mejora

243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horas improductivas 2019 del cargador frontal	20
Figura 2. Montacargas dual CAT GP30NM	36
Figura 3. Cargador de ruedas para cantera CAT	37
Figura 4. Volquete todo tipo de terreno Dong Feng	37
Figura 5. Camioneta pickup 4x4 Mitsubishi L200	38
Figura 6. Camión con carrocería FUSO F1	38
Figura 7. Ómnibus de pasajeros Scania 5218	39
Figura 8. Relación entre MTTR, MTTF y MTBF	49
Figura 9. Diagrama de tiempo de operación y fuera de servicio	51
Figura 10. Relación entre las diferentes tareas de mantenimiento	55
Figura 11. Efecto del mantenimiento reactivo sobre la disponibilidad	59
Figura 12. Estrategia de las 5S	66
Figura 13. Estructura orgánica de una municipalidad	75
Figura 14. Estructura orgánica de una gerencia de desarrollo urbano	76
Figura 15. Diagrama Ishikawa de la Unidad de Maquinaria y Equipos	78
Figura 16. Diagrama de priorización	81
Figura 17. Diagrama de Pareto	81
Figura 18. Dimensiones aproximadas del CAT 938G	94
Figura 19. Vista exterior del motor del CAT 938G	96
Figura 20. Vista exterior del tren de fuerza del CAT 938G	97
Figura 21. Vista interior de la cabina del CAT 938G	100
Figura 22. Vista exterior del cucharón del CAT 938G	101
Figura 23. Vista exterior de acopladores del CAT 938G	103
Figura 24. Diagrama de sistemas y subsistemas	104
Figura 25. Matriz de criticidad	107
Figura 26. Ventana configuración inicial	177
Figura 27. Ventana email	178
Figura 28. Ventana introducir artículos	178
Figura 29. Ventana empleados	179
Figura 30. Ventana plan de mantenimiento-O.T.	179
Figura 31. Ventana visualización de tablas editables	180

Figura 32. Ventana editar herramientas	181
Figura 33. Ventana editar evaluación de prioridad	181
Figura 34. Ventana editar prevención	182
Figura 35. Ventana editar tipo de incidencia	183
Figura 36. Ventana crear nueva pregunta de calidad	183
Figura 37. Ventana editar check list de seguridad	184
Figura 38. Ventana editar datos fiscales	184
Figura 39. Ventana principal Renovefree 6.0	185
Figura 40. Ventana módulo inicio	186
Figura 41. Ventana crear nuevo empleado	187
Figura 42. Estructura jerárquica Renovefree 6.0	188
Figura 43. Ventana mostrar protocolos de mantenimiento	191
Figura 44. Ventana elaborar plan de mantenimiento	195
Figura 45. Ventana generar O.T.'S preventivas	196
Figura 46. Ventana gestión O.T.'S	197
Figura 47. Ventana crear nueva O.T.	198
Figura 48. Ventana de nuevo proveedor	199
Figura 49. Ventana nuevo artículo de repuesto	200
Figura 50. Ventana añadir almacén	201
Figura 51. Ventana stock de artículos	202
Figura 52. Ventana lista de inventario	203
Figura 53. Ventana nuevo pedido	205
Figura 54. Ventana solicitud de servicio	206
Figura 55. Formato tarjeta roja 5S	213
Figura 56. Formato control tarjeta roja 5S	214
Figura 57. Recipientes y envases de plástico clasificados	215
Figura 58. Ordenamiento de herramientas y llantas	216
Figura 59. Pictogramas	220
Figura 60. Formato tarjeta amarilla 5S	224
Figura 61. Tachos de desechos	225
Figura 62. Pasos del mantenimiento autónomo sugerido por JIPM	226
Figura 63. Trabajos de mejora en tiempos de limpieza	227
Figura 64. Checklist 5S	228

Figura 65. Comparativo CR3	231
Figura 66. Comparativo CR5	232
Figura 67. Comparativo CR2	233
Figura 68. Comparativo CR4	234
Figura 69. Comparativo CR1	235

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de consecuencia	107
Ecuación 2. Cálculo de criticidad	107
Ecuación 3. Cálculo de NPR	132
Ecuación 4. Cálculo de DM con el Plan de Mantenimiento Preventivo	169
Ecuación 5. Cálculo de MTBF con el Plan de Mantenimiento Preventivo	170
Ecuación 6. Cálculo de MTTR con el Plan de Mantenimiento Preventivo	170

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo de estudio proponer un plan de mantenimiento preventivo en una municipalidad para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada.

Se identificaron y analizaron mediante un diagrama de Ishikawa y técnica de Pareto las causas que ocasionaron la baja disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada, priorizando que no cuenta con plan de mantenimiento preventivo, falta implementar indicadores de gestión de equipos, inexistencia de software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos, falta capacitación y entrenamiento en mantenimiento, y deficiente orden y limpieza. Luego mediante análisis de criterios se seleccionó el Cargador Frontal Caterpillar 938G para aplicar las herramientas de gestión de mantenimiento orientadas a mejorar la disponibilidad mecánica.

Mediante un análisis de resultados se pudo calcular que el indicador de disponibilidad mecánica del Cargador Frontal Caterpillar 938G mejoró de 68% a 97%.

De la evaluación económica financiera de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo se determinó una inversión de S/ 87,093.20 que incluye el costo de implementación del mantenimiento preventivo, costo de implementación de indicadores de gestión de equipos, costo de implementación de software de mantenimiento, costo de plan de capacitación y costo de plan de implementación 5S.

En conclusión, la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en una municipalidad, reduciendo las paradas no programadas y aumentando los ingresos por alquiler de maquinaria.

Palabras clave: Plan de mantenimiento preventivo, maquinaria pesada, disponibilidad mecánica.

ABSTRACT

The present investigation had to propose a preventive maintenance plan in the municipality to improve the mechanical availability of heavy machinery.

The causes that caused the low mechanical availability of heavy machinery were identified and analyzed by means of an Ishikawa diagram and Pareto technique, prioritizing that it doesn't have a preventive maintenance plan, lack of implementing equipment management indicators, lack of maintenance software for work orders and requirements, lack of training and maintenance training, and bad order and cleanliness. Then, through criteria analysis, the Caterpillar 938G Front Loader was selected to apply maintenance management tools had at improving mechanical availability.

Through an analysis of the results, it was possible to calculate that the mechanical availability indicator of the Caterpillar 938G Front Loader improved from 68% to 97%.

From the economic-financial evaluation of the proposal for a preventive maintenance plan, an investment of S/ 87,093.20 was determined, which includes the cost of implementing preventive maintenance, cost of implementing equipment management indicators, cost of implementing maintenance software, cost of training plan and cost of 5S implementation plan.

In conclusion, the proposal for a preventive maintenance plan improves the mechanical availability of heavy machinery in the municipality, reducing unscheduled stops and increasing machinery rental income.

Keywords: Preventive maintenance plan, heavy machinery, mechanical availability.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La municipalidad tiene como función específica compartida ejecutar directamente o proveer la ejecución de las obras de infraestructura urbana o rural que sean indispensables para el desenvolvimiento de la vida del vecindario, la producción, el comercio, el transporte y la comunicación en el distrito, tales como pistas o calzadas, vías, puentes, parques, mercados, canales de irrigación, locales comunales, y obras similares. (PCM, 2003)

La implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa Inverglobal Inc Ltda. en Colombia, concluye que toda actividad programada representa ahorro para la empresa, tanto en tiempo como en recursos. Los mayores gastos de mantenimiento se presentan en mantenimientos correctivos, por lo cual se hace evidente evitar su ocurrencia al máximo mediante los reportes a tiempo de fallos potenciales. Mientras en un mantenimiento preventivo se reacciona y se cambia una pieza para evitar que falle en un mantenimiento correctivo se debe reparar y cambiar una parte dañada que en su mal funcionamiento pudo haber afectado otros componentes. Asimismo, el programa de mantenimiento no es autosuficiente, pues requiere de la ayuda de los operadores, que son quienes tienen contacto directo con los equipos y pueden detectar fallas potenciales antes que se conviertan en fallas. (Ruiz Pinzón, 2009)

La Municipalidad Provincial de Arequipa, a fin de optimizar el uso del parque automotor, ha establecido para aplicación del mantenimiento preventivo de los vehículos de la municipalidad, que el coordinador de servicios auxiliares, debe planificar de acuerdo a la programación el mantenimiento, a efectos de prever el ipótesis equipo, herramienta, material, mano de obra, servicios de terceros y otros necesarios para el mantenimiento oportuno de los medios de transporte. (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2009)

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Arajuno de la Provincia de Pastaza en Ecuador, cumpliendo su política de bienestar para con su pueblo, ha establecido como una de las prioridades fundamentales la red vial del

Cantón que permita el desarrollo socio-económico y sustentable de todas las comunidades que la integran, para lo cual posee una flota de equipo caminero de nueve unidades comprendidos entre tractores Bulldozer, cargadora frontal, rodillo vibratorio, motoniveladora, retroexcavadoras, excavadoras, que permiten realizar la construcción de nuevas vías y el mantenimiento de las existentes. La falta de una planificación y programación del mantenimiento en estos equipos ha ocasionado la indisponibilidad de los mismos, generando como consecuencia retraso en la construcción y mantenimiento de las obras viales planificadas debido a los diferentes fallos que han producido paros totales y parciales en los equipos con la consecuente elevación de costos tanto operativos como de mantenimiento, constituyéndose en un grave problema para la administración municipal. Esta situación plantea implementar un sistema de gestión de mantenimiento que permita planificar, programar y controlar las tareas de mantenimiento preventivo a los equipos a fin de cumplir su funcionalidad con eficiencia y eficacia en los trabajos programados, mayor disponibilidad de los mismos y bajos costos operativos y de mantenimiento complementándose con un mejor manejo de la logística del mantenimiento como mano de obra, materiales, repuestos y herramientas. (Hernández Cruz, 2010)

La Municipalidad Provincial de Chiclayo, a fin de que los vehículos y maquinaria pesada estén en permanente condición operativa, ha establecido formular el plan de mantenimiento de los vehículos y maquinaria pesada. En el plan debe consignarse el cronograma de atención del servicio o de afinamiento, lavado, cambio de aceite y engrase; revisión de frenos, dirección, suspensión y revisión técnica de cada vehículo. Asimismo, cuando se requiera internar una unidad vehicular para su reparación en talleres particulares, elaborará un inventario detallado de los accesorios, repuestos, llantas, amortiguadores, fecha de la batería, número de motor, kilometraje con el que ingresó, día y hora de internamiento, entre otros datos que sean relevantes. (Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2014)

Según Noria Latín América muchos departamentos de mantenimiento “apagan fuegos” en lugar de abordar sus problemas sistemáticamente. La prevención es una meta mucho mejor que tratar de resolver los problemas a medida que surgen. Si bien esta estrategia puede ser un poco costosa al principio, no es tan cara como

permitir que ocurran los problemas. La solución de problemas de mantenimiento se basa principalmente en cuatro áreas el mantenimiento de los sistemas críticos, solucionar el problema pronto y más rápido que la última vez, determinar qué está causando que la falla suceda con tanta frecuencia, e identificar el 20% de las averías que consumen el 80% de sus recursos. Si puede ver una solución y todo lo que necesita es una buena planificación, entonces la situación que enfrenta debe denominarse más como una “dificultad” que como un problema. Por supuesto, si está experimentando muchas de estas dificultades, puede haber una causa raíz común que podría definir un problema. Sus esfuerzos de prevención deben ser exhaustivos y cubrir todas las áreas en las cuales pueden surgir problemas, como personal, prácticas de mantenimiento, hardware y sistemas. Estas categorías son más útiles cuando se resuelven problemas de causa/efecto. Sin embargo, también pueden usarse para mantener a un gerente enfocado en todos los aspectos del mantenimiento. Dos técnicas importantes para establecer la verdadera causa de un problema son el diagrama de Ishikawa y el método de Kepner-Tregoe. Estas técnicas son especialmente útiles con problemas de causa/efecto que desafían la solución. La prevención requiere que la gerencia de mantenimiento desarrolle una nueva mentalidad y tome una decisión consciente para dejar de apagar incendios. (Lantz, 2016)

La Municipalidad Provincial de Tayacaja, a fin de que la maquinaria esté en permanente condición operativa, ha establecido que el responsable de maquinaria es responsable de formular el plan de mantenimiento de los vehículos. En el plan debe consignarse el cronograma de atención del servicio o de afinamiento, lavado, cambio de aceite y engrase, revisión de frenos, dirección, suspensión y revisión técnica por cada vehículo. Asimismo, cuando haya de ser internado un vehículo para su reparación en talleres particulares, se recabará del taller el inventario detallado en el que conste todos sus accesorios, repuestos de las llantas, amortiguadores, fecha de la batería, número de motor, kilometraje con el que ingreso, día y hora de internamiento. (Municipalidad Provincial de Tayacaja, 2019)

Tabla 1

Relación de maquinaria pesada de una municipalidad

TIPO DE MAQUINARIA	MARCA	MODELO
Cargador Frontal	Caterpillar	938G
Cargador Frontal	Komatsu	WA380
Retroexcavador	Caterpillar	420E
Rodillo	Hamm	HD 14 VV
Motoniveladora	New Holland	RG 140.B

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Actualmente, en la Unidad de Maquinaria Pesada y Equipos de Construcción de una municipalidad existe indisponibilidad de la maquinaria pesada, por lo cual identificamos en el año 2019 estos tiempos improductivos que vienen generando pérdidas monetarias en el servicio no exclusivo de alquiler de maquinaria pesada. En la Tabla 2 se presenta como muestra el cálculo de la pérdida monetaria debido a la indisponibilidad para alquiler del Cargador Frontal marca Caterpillar.

Tabla 2

Perdidas 2019 por indisponibilidad de cargador frontal marca Caterpillar

AÑO	MES	HORAS IMPRODUCTIVAS	COSTO H/M	MONTO
2019	Enero	60	220	S/ 13,200
	Febrero	64	220	S/ 14,080
	Marzo	62	220	S/ 13,640
	Abril	61	220	S/ 13,420
	Mayo	68	220	S/ 14,960
	Junio	67	220	S/ 14,740
	Julio	65	220	S/ 14,300
	Agosto	63	220	S/ 13,860
	Setiembre	60	220	S/ 13,200
	Octubre	68	220	S/ 14,960
	Noviembre	61	220	S/ 13,420
	Diciembre	69	220	S/ 15,180
Total		768		S/ 168,960.00

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

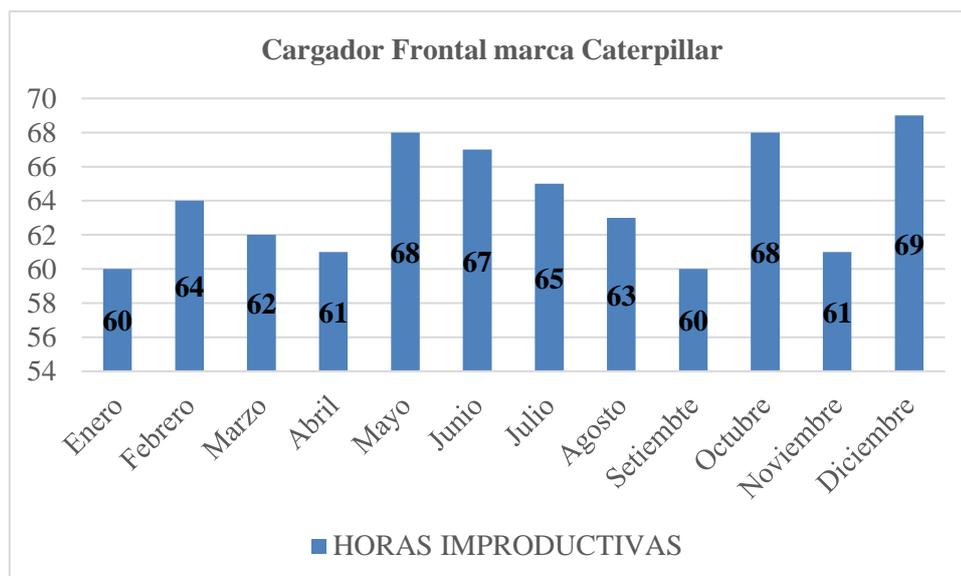


Figura 1. Horas improductivas 2019 del Cargador Frontal marca Caterpillar

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Por lo antes expuesto, el presente proyecto tiene como propósito desarrollar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada en una municipalidad, orientada a mejorar la disponibilidad mecánica aplicando técnicas y herramientas de gestión de mantenimiento.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

(Hernández Cruz, 2010) En la tesis “Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial N° 14, Dirección General de Caminos” en Guatemala, propone que un plan de mantenimiento tiene como objetivo poder mantener constantemente en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria para lograr su máximo rendimiento y con un mínimo costo. Ahora bien, existe cierta confusión, respecto al alcance de mantenimiento preventivo, algunos creen que esto se reduce a unas inspecciones periódicas, sin embargo, este mantenimiento abarca no solo las actividades de eliminación de averías o de comportamiento anormal, sino la normalización, disminución de costos de operación e incremento de la vida útil de las máquinas y equipos. A través del seguimiento de procedimientos esenciales como lubricación y engrase, los operadores contribuyeron a prolongar la vida de la maquinaria y minimizar así los costos de operación y mantenimiento y ser inspectores de su propia máquina. Uno de los mayores errores en el manejo y uso de la maquinaria o equipo es el hacerla operar por largos periodos, sin realizar los paros necesarios, para efectuar un mantenimiento de las mismas y ejecutarlo únicamente cuando haya fallas, ya que esto incrementará los costos, tanto repuestos, como de personal. Finalmente, concluye que cuando la maquinaria ha sido sometida a trabajos forzados y no se le ha dado una correcta operación, ni un mantenimiento adecuado, esto provocará averías, lo cual eleva el costo de reparación y de repuestos requeridos por los mismos.

(Sanabria Cancelado & Hernández Jiménez, 2011) En la tesis “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la

Gobernación de Casanare” en Colombia, para la aplicación de planes de mantenimiento preventivo es indispensable saber con qué presupuesto se debe contar para su perfecta ejecución y por ello se debe hacer un estudio financiero a un tiempo determinado para que, en ese tiempo, los resultados o los beneficios se vean reflejados en el desempeño de las actividades propias de las maquinas. Además de esto se debe hacer un estudio de que personal se debe tener en cuenta para realizar dichos mantenimientos, ya que los salarios de aquellos que realizan estas actividades deben ir incluidos en el presupuesto anual de ejecución del plan de mantenimiento. Para una aplicación efectiva del plan de mantenimiento preventivo, se requiere personal capacitado para realizar los mantenimientos programados en la maquinaria. Algunos mantenimientos, que se encuentran en un rango no muy alto de horas de trabajo, es decir entre 10 horas y 100 horas son realizados por los operadores de las maquinas. Los trabajos pertenecientes a un rango de 100 horas hasta 1000 horas son realizados por personal certificado en mecánica diésel, ya que estos mantenimientos requieren conocimiento de ubicación y funcionamiento de piezas esenciales en el funcionamiento de la maquinaria. Todo trabajo de técnico después de las 1000 horas es hecho por especialistas en maquinaria pesada, estos técnicos especializados son proporcionados por el fabricante para su respectiva intervención y revisión de los equipos o maquinas. Al momento de ejecutar el plan de mantenimiento es indispensable identificar los horómetros de la maquinaria para hacer posible una programación y así intervenir de manera apropiada las maquinas. A partir de esta medición de horas inicia el plan de mantenimiento preventivo, la primera intervención se hará de acuerdo a los datos de la columna perteneciente a próximo mantenimiento y las otras intervenciones se harán de acuerdo a los especificado en los numerales correspondientes a los mantenimientos de cada tipo de máquina. Después de realizar este estudio se establecen 6 intervenciones al año debido a que los mantenimientos se hacen cada 2 meses aproximadamente en toda la maquinaria y se obtiene un costo total del mantenimiento por un año de la maquinaria por un importe de \$ 650.384.543. Finalmente, recomienda manejar indicadores de gestión para para ejercer control sobre el plan de mantenimiento y para determinar qué presupuesto adicional se debe

contemplar al momento de ejecutar las actividades programadas en la ejecución de dicho plan.

(Pico Leguízamo, 2011) En la tesis “Gestión de mantenimiento para la sección de equipo caminero del Gobierno Municipal de Arajuno” en Ecuador, expone que luego de haber realizado el estudio de la situación actual de mantenimiento se ha llegado a determinar que para que el equipo caminero tenga mayor disponibilidad, se debe organizar el personal de mantenimiento, a más de impulsar cambios que permitan generar menores costos de mantenimiento, y que podrán servir de referencia a las otras flotas vehiculares que posee la institución. Asimismo, con la implementación se alcanzará cambiar la política de posponer por la de predecir, estrategia en la que predomina el aspecto de controles y operaciones bien proyectadas para remediar los desperfectos que originan altos costos en el mantenimiento del equipo caminero, demostrando que el mantenimiento es una inversión y no un gasto. Finalmente, concluye que la propuesta de implementación del sistema de gestión de mantenimiento en la planificación y programación del mantenimiento incluye codificación del equipo caminero, ordenes de trabajo, solicitud de materiales, hoja de inventarios, hojas de lubricación, niveles de mantenimiento y bitácoras de mantenimiento; que permitirá una mejor gestión y disponibilidad del equipo caminero.

(Maldonado Villavicencio & Sigüenza Maldonado, 2012) En la tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa Minera Dynasty Mining del Cantón Portovelo” en Ecuador, establece que para elaborar la propuesta se debe tener en cuenta las necesidades de cambio e implementación que esta requiere en cuanto a su estructura. Para que los trabajos sean eficientes se debe controlar y planificar las acciones llevadas a cabo en el mantenimiento para así reducir costes en mano de obra y paros de las maquinas. Cada programa para cada máquina está diseñado de acuerdo a lo que propone el manual de servicio y mantenimiento proporcionado por la institución y a las condiciones extremas en donde trabajan, es así que se deben tomar en cuenta que van a diferir una de otra debido a que hay diferentes tipos

de marcas, modelos y sistemas. Para esto debemos tomar muy en cuenta las horas en donde las maquinas se encuentran disponibles para realizar cualquier actividad de mantenimiento sin afectar el proceso de producción. El costo más representativo para la mayoría de las empresas es generado por la pérdida de producción durante el tiempo en que la maquinaria se encuentra parada por motivos de mantenimiento o reparación, por tal motivo con la implementación de un programa de mantenimiento se busca la reducción de estos tiempos. Finalmente, se concluye que el inventario actualizado de la maquinaria pasada de la empresa se constituye en la base fundamental para la implementación de un plan de mantenimiento ya que por medio de este documento se tiene acceso rápido a características propias de cada máquina y recomienda, ejecutar el programa de mantenimiento para llevar el control adecuado de cada una de las maquinas obteniendo el máximo rendimiento de las mismas.

(Pérez Castillo & Salgado Ordóñez, 2012) En la tesis “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo programado para equipo pesado y motores fuera de borda del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Colta con la utilización de un software” en Ecuador, justifica que con la ejecución del plan de mantenimiento se alcanzará una reducción de tiempos muertos (TM) y costos de mantenimiento (CM) dando lugar a que cada maquinaria cumpla con la vida útil de trabajo para lo cual fue diseñada, lo que indica que se debe realizar trabajos adecuados de mantenimiento pues la maquinaria constantemente estará sometida a condiciones severas, asimismo el análisis de fallas tiene por objeto eliminar las fallas repetitivas y prever la revisión o el cambio de las piezas usadas antes de la falla o ruptura, solo un historial de fallas con un análisis por maquinaria y por familia en función del tiempo o del kilometraje permite observar el nivel crítico, pero también el comportamiento de los operadores y la calidad del mantenimiento influyen. Finalmente, el esfuerzo de organización del mantenimiento logra su recompensa a través de una tasa de utilidad más alta y la optimización de los recursos humanos y técnicos.

(Buelvas Díaz & Martínez Figueroa, 2014) En la tesis “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L” en Colombia, plantea que es necesario identificar los mantenimientos que se deben realizar y analizar los costos de estos en un tiempo prudente, en este caso se realizará el estudio del presupuesto identificando el costo de mantenimiento en un año para evitar contratiempos en lo que se refiere a la disponibilidad de los repuestos y así evitar que la máquina quede fuera de servicio. Las hojas de vida de las maquinas son el elemento más importante a la hora de elaborar un plan de mantenimiento, debido a que con esto sabemos el tiempo en que la máquina exige el cambio de algún repuesto. Para el buen funcionamiento de la maquinaria, es importante identificar que repuestos son cambiados con mayor frecuencia y cada cuanto es recomendable realizar dicho cambio. Analizando los resultados, con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo se puede ganar en trabajo alrededor de 14 días de trabajo, debido a que los repuestos se encuentran disponibles y los tiempos de operación incrementan al no forzar los repuestos hasta el día que fallen, es decir que si se cambian los repuestos oportunamente se pueden trabajar más días, evitando así que se presenten fallas que dejen por fuera de servicio a la máquina y solo cesarían actividades el día que se programa mantenimiento. En un periodo de prueba de algunas de las actividades del plan, se ha tenido registro mejora de la disponibilidad de un 9% en un promedio de tres meses, lo que evidencia la efectividad de la propuesta que se está trabajando. Se recuerda que los planes de mantenimiento se deben ajustar según la evolución que se observe, teniendo en cuenta que cada actividad propuesta requiere un tiempo de gracia para mostrar los resultados esperados.

(Hernández Morales, 2015) En la tesis “Planeación del mantenimiento de la maquinaria pesada en proyecto: Modificación por fallas geológicas del camino de Amojileca-Omiltemi” en México, plantea como hipótesis la planeación de mantenimiento aplicado a la maquinaria pesada, disminuye el tiempo de inactividad de las maquinas teniendo como consecuencia un aumento en la productividad de la empresa. La planeación en el contexto de mantenimiento, se refiere al proceso mediante el cual se determinan y preparan todos los

elementos requeridos para efectuar una tarea antes de iniciar el trabajo. El proceso de planeación comprende todas las funciones relacionadas con la preparación de la orden de trabajo, la lista de materiales, la requisición de compra, los planos y dibujos necesarios, la hoja de planeación de mano de obra, los estándares de tiempo y todos los datos necesarios antes de programar y liberar la orden de trabajo. No se debe olvidar que es de suma importancia, conocer el manual del equipo y aquellas recomendaciones que la mayoría de ocasiones incluye el fabricante en él y de no ser así solicitar esta información, debido a que hay aspectos específicos de cada máquina que deben cuidarse y esta información la determina el diseñador; no debe existir un mantenimiento alejado del manual; en ocasiones a fin de conservar la garantía del equipo, es imposible excluir al fabricante al momento de dar mantenimiento al equipo. Finalmente, concluye la planeación del mantenimiento si influye de manera directa en reducción de la inactividad ocasionada por paros no programados, la productividad de la empresa se ve incrementada al poder cubrir los programas de actividades propios de la planeación de una obra o proyecto que está obligada a su terminación de acuerdo al tiempo establecido en un contrato que ampara estos trabajos; si se realiza la planeación del mantenimiento se puede garantizar el rendimiento de la maquinaria.

1.2.2. Antecedentes nacionales

(Martínez Calizaya, 2012) En la tesis “Proponer una gestión de mantenimiento para todos los equipos de línea amarilla de una empresa que brinda servicios de alquiler de maquinaria” en Lima, se enfoca en la mejora del mantenimiento integral de la empresa, si consideramos que las horas inoperativas de las máquinas son por motivos que involucran directa e indirectamente al mantenimiento, podemos decir que existe falla en la gestión integral del mantenimiento. La inoperatividad de una máquina es el problema principal del servicio de alquiler, si consideramos que las máquinas facturan por hora trabajada, el perjuicio es directo contra los ingresos y esta inoperatividad solo puede ocurrir por dos motivos, es decir cuando la empresa no provee un maquinista para el turno designado y la causa de que la máquina no esté

disponible por falla mecánica. En esta última generalmente una falla ocurre o son detectadas cuando los equipos están operando y como consecuencia las operaciones tienen que ser detenidas. Dentro de la gestión de mantenimiento preventivo encontramos dos procesos muy importantes, el mantenimiento preventivo que trabaja sobre la programación dentro de los parámetros de los manuales de mantenimiento, especificaciones técnicas y recomendaciones de los ingenieros diseñadores de equipos, y el segundo proceso es el mantenimiento predictivo que trabaja sobre el historial y calculo estadístico de una posible falla, es decir predice la falla en base a chequeos periódicos focalizados con herramientas especiales, con esto se puede reparar antes de ocurrida la fallas. Finalmente, concluye que este problema de mantenimiento no solo genera pérdidas por el desgaste y la inoperatividad de las maquinas, sino que detienen las operaciones por ser parte fundamental en el aparato productivo de la empresa, generan sobre costos en el mismo mantenimiento y genera incertidumbre en la productividad.

(Aduato Arana, 2016) En la tesis “Propuesta de plan de mantenimiento preventivo para el cargador frontal New Holland en la municipalidad de Huancan” en Huancayo, se dio a conocer una descripción del estado actual del cargador frontal, así como una propuesta de mantenimiento preventivo y espera que la municipalidad reduzca el porcentaje de mantenimientos correctivos. Una vez terminada la evaluación actual del cargador frontal se procede a la propuesta de mantenimiento preventivo, realizado con el fin de prevenir al máximo las fallas en el equipo y preservarlos en un estado de funcionamiento óptimo. Las características bajo las cuales se propone el desarrollo del plan son inventario de equipo, codificación del equipo, diseño del sistema documental (formatos para el mantenimiento), diseño de indicadores de gestión y programa de capacitación al personal. La frecuencia de falla del cargador frontal se cuantificó con un tres, porque presenta fallas en promedio de tres fallas por mes aproximadamente, al impacto operacional se calificó con un ocho porque si el cargador frontal falla causa una parada en las tareas a desarrollar, la flexibilidad operacional tiene una calificación de dos porque existe posibilidad de repuesto compartido y la posibilidad de recuperar el equipo, el impacto de seguridad

ambiental y huma se calificó con un dos debido que una falla o mala reparación por partes de los operarios podría provocar daños menores ya sea accidentes o incidentes. Al hacer cálculos de consecuencia arrojan un resultado de veinte y la frecuencia de fallas es de tres, por lo tanto, la criticidad total del cargador frontal es de sesenta. En conclusión, considerando su nivel de criticidad se encontró que es un equipo semi crítico dentro de la institución, puesto que si llega a fallar ocasionaría paradas imprevistas, y como consecuencia el malestar de la población.

(Llauce Nuñez, 2017) En la tesis “Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la motoniveladora CAT 120K en la municipalidad distrital de Masma” en Huancayo, priorizo la motoniveladora debido a que por el tipo de trabajo presentó muchas fallas y paradas lo que hizo que su rendimiento fuera cada vez menos óptimo. Buscando mejorar el problema que debe ser solucionado se realizó el programa de mantenimiento ya que las paradas de esta máquina fueron muy frecuentes entre los meses de diciembre del 2014 a noviembre del 2015 en donde la disponibilidad de la motoniveladora fue de 60.56%. Para poder identificar todos los componentes críticos de la motoniveladora CAT 120K se realizó de acuerdo al programa de mantenimiento, una inspección en el cual se pudo ver todos los elementos que requieren cambio, reparación, sustitución o un mantenimiento en pocas horas (hasta 600 horas de uso), también a actividades de mayor índole en el mantenimiento de maquinarias que se realizan a partir de las 250 horas, 500 horas, 1000 horas, 2000 horas, 3000 horas, y 6000 horas. Asimismo, se elaboró documentos y fichas que se proponen para llevar un adecuado control del mantenimiento para la motoniveladora y un procedimiento a seguir en el mantenimiento preventivo. Se logró separar a la motoniveladora en sistemas a cada uno de los componentes principales de esta máquina: modelo de motoniveladora, sistema hidráulico, sistema de dirección, sistema eléctrico, sistema de refrigeración, herramientas y accesorios, unidad de potencia y combustible, tren de potencia. Se logró identificar y determinar cuáles son los componentes críticos basándose en el número de horas que trabajan y en su reparación o sustitución de estos elementos en tiempos relativamente cortos

(hasta 600 horas de uso). Finalmente, con el programa de mantenimiento preventivo se llegó a aumentar la disponibilidad de 60.56% hasta 77.22%, debido a que en el programa se especifica cuando se debe realizar los trabajos y actividades juntamente con el intervalo de tiempo en horas en el que estas se deben dar.

(Labra Quispe, 2018) En la tesis “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad Provincial de Canchis” en Cuzco, tiene como objetivo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para mejorar sus disponibilidad y confiabilidad. Se realizó el diagnóstico de los sistemas, sub sistemas y componentes de la maquinaria pesada para determinar sus funciones, fallas funcionales, modo de fallas y su frecuencia que son parte del problema a resolver y de esta manera se elaboró la propuesta del plan de mantenimiento preventivo. Se identificó los componentes más críticos, para determinar la criticidad de los equipos, la herramienta que se utilizó fue la aplicación de la matriz de criticidad, la cual por medio de un análisis que comienza por la identificación de los elementos y su frecuencia, un alto grado de impacto operacional, poca flexibilidad operacional, altos costos de mantenimiento y un alto impacto en la seguridad ambiental y humana. Para el cargador frontal CAT 938G para el filtro de combustible indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 135 horas de operación con una confiabilidad del 70.87%, tenemos un tiempo medio entre fallas de 250.4 horas y para la bomba hidráulica el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 135 horas de operación con una confiabilidad del 70%, tenemos un tiempo medio entre fallas de 375.4 horas. Para el tractor CAT D7G para el filtro de combustible indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 280 horas de operación con una confiabilidad del 70.41%, tenemos un tiempo medio entre fallas de 375.4 horas y para la lubricación el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 345 horas de operación con una confiabilidad del 70.31%, tenemos un tiempo medio entre fallas de 450.5 horas. Para la motoniveladora NEWHOLLAN RG200 para el sistema de combustible indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 183 horas de operación con una confiabilidad del 70.77%, tenemos

un tiempo medio entre fallas de 228.4 horas. Para la excavadora KOMATSU PC350L para el sistema de combustible indica que el mantenimiento preventivo se debe realizar cada 204 horas de operación con una confiabilidad del 70%, tenemos un tiempo medio entre fallas de 237.9 horas. Finalmente, recomienda continuar con la línea de investigación referente al mantenimiento, e integrar el análisis de costos de mantenimiento.

(Espinoza Gamarra, 2018) En la tesis “Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la municipalidad distrital de Carahuasi” en Abancay, tuvo como objetivo mejorar la atención de las obras de la Municipalidad Distrital de Curahuasi. La mejora de la vida útil y el aumento de disponibilidad muestran los resultados del plan de mantenimiento preventivo, esta mejora se consiguió siguiendo rigurosamente el mantenimiento preventivo en las unidades, reduciendo el mantenimiento correctivo y las fallas más frecuentes. Los formatos de inspecciones fueron una herramienta para el área de equipo mecánico permitiendo llevar una adecuada gestión de mantenimiento de las unidades. Los resultados tras la implementación del plan de mantenimiento preventivo en la municipalidad distrital de Curahuasi muestran varios beneficios entre los cuales se encuentra el incremento de porcentaje de disponibilidad, disminución de costos de mantenimiento correctivo, mejora de la vida útil, adecuado funcionamiento de las máquinas y reducción de paradas imprevistas; Otro resultado obtenido con la implementación del plan de mantenimiento preventivo es la disminución del porcentaje de mantenimiento correctivo a menos de 10% en las unidades de la municipalidad distrital de Curahuasi. La implementación del plan de mantenimiento preventivo aumenta el porcentaje de disponibilidad de las unidades de la municipalidad distrital de Curahuasi, cumpliendo con el primer objetivo específico, los resultados que se muestran del mes de diciembre y enero coinciden con los resultados esperados, la disponibilidad aumento en un 5% alcanzando una disponibilidad mayor a 92% en todas las unidades, asimismo tendrá un impacto económico positivo con una rentabilidad mensual S/ 33,413.45 aproximadamente, debido a la reducción de los mantenimientos

correctivos y prescindir del alquiler de maquinaria para cumplir con las horas requeridas.

(Mendoza Rabanal & Chavarry Cerdan, 2018) En la tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad en la máquina tronquera y sierra de cinta en la empresa DERIMA S.R.L.” en Cajamarca, el objetivo de la investigación fue la de analizar y determinar la disponibilidad de las dos principales máquinas de inicio del ciclo de producción. Para llegar a este resultado se desarrolló el estudio apropiado con la ayuda de los diagramas de Ishikawa, el diagrama de Pareto, la tabla matriz de riesgo-impacto 5w y diagrama de operaciones. Después de implementar la propuesta de mantenimiento preventivo se logró aumentar la disponibilidad de las máquinas en un 28,4% para la maquina tronquera y 24,6 de la máquina sierra de la cinta. Los resultados mostrados al concluir esta investigación en la empresa DERIMA S.R.L. logran señalar un aumento en los indicadores estudiados como la fiabilidad, calidad y la disponibilidad gracias al mantenimiento preventivo. Para la investigación estos indicadores obtienen un valor actualizado de 97.60% en la máquina tronquera y 94.50% en la máquina sierra de cinta, en cuanto se refiere a la fiabilidad; para el indicador de la disponibilidad la tronquera ha mejora a un 95.85% y 94.75% para la máquina sierra de cinta.

(Rojas Gonzales, 2019) En la tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado de una unidad minera en La Libertad, 2019” en Pataz, identificó como problema que las plantas de chancado no cuentan con planes de mantenimiento preventivo, lo cual genera consecuencias como: un elevado número de paradas no programadas, disminución en los ingresos, entre otros efectos nada beneficiosos. Con la implementación de los planes de mantenimiento se logró demostrar que los tiempos de reparación (MTTR) han disminuido en comparación al periodo 2018 de 21.1 horas a 4.16 horas en 2019, los tiempos hasta el fallo (MTBF) han aumentado en comparación al periodo anterior 2018 de 42 horas a 19938 horas, esto quiere decir que para que ocurra una intervención tiene que operar el equipo 199.8 horas, por ende se evidencia que

la disponibilidad de los equipos de la nueva planta de chancado ha aumentado de 84.27% a 97.81% generando menos indisponibilidad al proceso. Finalmente, se logró demostrar que la propuesta de implementación del plan de mantenimiento preventivo es viable porque se evidencio el aumento de la disponibilidad de la nueva planta de chancado.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Maquinaria

Los Estados Unidos fueron los primeros en desarrollar innovaciones para ahorrar mano de obra, primero en agricultura, después en construcción, los dos encajándose en una vigorosa tradición de mecanización. El Reino Unido y Europa se hallaban en considerable atraso en ambos sectores, probablemente debido a la abundancia de mano de obra y la menor escala de las obras para realizar, lo que llevó a una dilución del ímpetu hacia una mayor productividad. Los fabricantes norteamericanos de equipamientos, pioneros en la obsolescencia planificada, al contrario del principio Europeo de la construcción duradera, también alimentaron el proceso de cambio, además de que los lazos entre los fabricantes y los usuarios siempre estuvieron estrechos así permitiendo que lecciones de operación se incorporaran en el proceso de diseño. (Mamani Limachi, 2008)

1.3.1.1. Características y aplicaciones de la maquinaria pesada

- **Maquinaria para acarreo y transporte**

Acarreo manual, acarreo con equipo mecánico, carretilla, moto tráiler, camiones, bogue, volquetes. Maquinaria utilizada:

- a. Moto escropa: Es el equipo de trabajo que se utiliza para mover cantidades importantes de tierra, y fundamentalmente en tareas de compresión de volúmenes en distancias de 200 a 300 mts.
- b. Camiones de volteo: Se puede definir como aquel tracto camión que tiene montado sobre su chasis una caja de volteo o acarreo.

- c. Dumper: Usada en la minería o en acarreos de grandes volúmenes de material. Debido a su tamaño no pueden circular en las vías de comunicación comunes.
- d. Volquetes: Parecidos a los camiones de volteo con la diferencia que su capacidad de carga es mayor.
- e. Vagonetas: Son unidades de carga que son arrastrados por un tractor o camión, consta de una caja de almacenamiento sobre los ejes.

- **Maquinaria para carga**

Es aquella maquinaria utilizada para el transporte de la tierra o desperdicios después de la excavación. Maquinaria utilizada:

- a. Payloader: Es una maquinaria auto propulsada sobre ruedas, equipada con una cuchara frontal con estructura soporte en chasis rígido.
- b. Cargador compacto de orugas: El tren de rodaje está suspendido proporciona amortiguación más suave y mayor retención del material.

- **Maquinaria para cimentación**

Basándose en el criterio de diseño de sus cimentaciones, las maquinarias pueden clasificarse como:

- a. Las que producen fuerzas de impacto, como son los martillos y las prensas.
- b. Las que producen fuerzas periódicas, como los compresores.
- c. La maquinaria de alta velocidad, como las turbinas y los compresores rotatorios.
- d. La maquinaria especial, como, por ejemplo, los radares.

- **Maquinaria para compactación**

La compactación es la densificación del suelo por medios mecánicos, mejora la resistencia y estabilidad volumétrica, permeabilidad del suelo.

Maquinaria utilizada:

- a. Compactadores con neumáticos: Las fuerzas de compactación generadas por estas máquinas actúan descendente de la parte superior de la capa para aumentar la densidad del material. El esfuerzo de compactación basta con variar la presión de los neumáticos o cambiar el peso del lastre.
- b. Rodillos pistones: Los pistones atraviesan la capa superior del material y compacta realmente la capa inferior dejando la superficie más suelta. Tiene la ventaja de compactar de abajo hacia arriba y deja una superficie esponjosa para que se produzca su secado. Compactadores vibratorios: las fuerzas aplicadas contra el suelo en estos rodillos hacen que sean más efectivos para la compactación. Se considera que la compactación es uniforme en todo el espesor de la capa compactada.
- c. Compactador mecánico: Utiliza las vibraciones para compactar el suelo en espacios pequeños usualmente se usa en obras pequeñas.

- **Maquinaria para excavación**

Es aquel tipo de máquina la cual su función es excavar el terreno o para hacerse paso para que pueda acceder a un lugar. (MarcoTeórico.com, 2020)

Dentro de este tipo encontramos maquinaria como:

- a. Retroexcavadora: Esta máquina cuenta con brazo hidráulico que permite extraer material, permite una ejecución precisa y rápida. Se usa para canalizaciones, instalación de tubos y puede efectuar un relleno.
- b. Excavadora 320: Máquina que permite un giro capas de 360° que excava y carga, está montada sobre cadenas (orugas) para un mejor desempeño.
- c. Bulldozer: Equipo montado sobre orugas equipada en una pieza en la parte delantera para el empuje del material.
- d. Dragas: Maquinaria montada sobre una embarcación es utilizada para excavar material debajo del nivel del agua.

- **Maquinaria para pavimentación**

Extendedor de concreto para pavimento que se usa para distribuir el concreto mezclado húmedo a lo ancho del pavimento. Puntea el camino a pavimentar montada sobre ruedas de acero.

- a. Pavimentadoras de asfalto: Distribuye y da forma al asfalto es puesto en un área determinada como una carretera o un estacionamiento, que también termina la tarea de compactarlo.
- b. Moto conformadora: Son máquinas con una hoja auto ajustable situada entre los ejes delanteros y trasero, que corta, mueve y extiende materiales con fines generalmente de nivelación.
- c. Motoniveladora: Es una máquina de construcción que cuenta con una larga hoja metálica empleada para nivelar terrenos. La principal finalidad de la motoniveladora es nivelar terreno y refinar taludes (puede retirar taludes con distintas inclinaciones).

- **Maquinaria para perforación**

Máquina con un brazo hidráulico con una punta que permite romper o quebrar grandes trozos de rocas o concreto tanto vertical como horizontal. Maquinaria utilizada:

- a. Perforadora hidráulica: Diseñadas para la ejecución de obras de pilotaje capaces de utilizar técnicas de trabajos distintas.
- b. Martinetes: Son diseñados para el hincado de pilotes y tabla estacas. Vibro hincadores: diseñados para la ejecución de pilotaje en suelos blandos y arenosos, equipos para introducir ademes metálicos en pilas.
- c. Botes: Son herramientas de perforación diseñadas para trabajos en suelos secos y bajo el agua, blandas o duros. Son herramientas que dejan poco o nulo azolve de perforación.
- d. Brocas: Son herramientas de perforación diseñados para trabajos en suelos secos con dureza media a dura.

1.3.1.2. Clasificación de la maquinaria

- **Equipo liviano**

Pueden ser máquinas pequeñas o equipos especializados; como: compresoras, bomba de agua, bomba de lodo, vibradoras, ginchos, cortadoras de acero, rompe pavimentos, montacargas, etc. (Crane and Machinery, 2020)



Figura 2. Montacargas dual Cat GP30NM

Fuente: (Unimaq, 2019)

- **Maquinaria pesada**

La maquinaria pesada se refiere a vehículos pesados, especialmente diseñados para ejecutar tareas de construcción en el área de infraestructura tanto privada como pública. La construcción abarca no sólo la adecuada elección de materiales y procesos constructivos, sino que se refiere también al entorno urbano y al desarrollo del mismo.

Maquinaria de grandes proporciones geométricas comparado con vehículos livianos, tienen peso y volumetría considerada; requiere de un operador capacitado porque varía la operación según la maquinaria; se utiliza en movimientos de tierra de grandes obras de ingeniería civil y en obras de minería a cielo abierto. Ejemplos Grúas, excavadoras, tractor, etc. (Mamani Limachi, 2008)



Figura 3. Cargador de ruedas para cantera Cat 950 GC

Fuente: (Ferreyros, 2018)

- **Maquinaria semi pesado**

Son maquinarias de tamaño mediano utilizados generalmente en la construcción, por ejemplo: camión volquete, carros cisternas o aguateros, camiones escalera. El peso y volumen de estas unidades es mediano.



Figura 4. Volquete todo tipo de terreno DongFeng T-LIFT 380

Fuente: (San Bartolomé, 2016)

- **Vehículos livianos**

De peso y volumen reducido, auto transportables, por ejemplo, automóvil, furgonetas, jeep, camioneta, minibús, etc.



Figura 5. Camioneta pickup 4x4 Mitsubishi L200

Fuente: (Mitsubishi, 2019)

- **Vehículos pesados**

Entre estos vehículos se tiene al camión de estacas o camión con carrocería.



Figura 6. Camión con carrocería Fuso F1

Fuente: (Fuso, 2016)

- **Vehículos semi pesados**

Entre estos vehículos semipesados se tienen los del uso público como son los buses, microbuses, etc.



Figura 7. Ómnibus de pasajeros Scania 5218

Fuente: (Scania, 2016)

1.3.2. Mantenimiento

El mantenimiento es la serie de tareas o trabajos que hay que ejecutar en algún equipo o planta, a fin de conservarlo eficientemente para que pueda brindar el servicio para el cual fue creado. Para el Departamento de Maquinaria, el objetivo del mantenimiento es la conservación, ante todo del servicio que están suministrando las máquinas; este es el punto esencial y no como erróneamente se ha creído, que el mantenimiento está obligado a la conservación de tales elementos. El servicio es lo importante y no la maquinaria o equipo que los proporciona, Por lo tanto, se debe de equilibrar en las labores de mantenimiento los factores esenciales siguientes: calidad económica del servicio, duración adecuada del equipo y costos mínimos de mantenimiento. La adquisición de equipo nuevo acarrea costos elevados, pues inicialmente su depreciación es muy acelerada, aunque se compensa, ya que necesita menos gastos de mantenimiento y la expectativa de falla es menor. Conforme transcurre el tiempo, el equipo se va deteriorando y sus componentes van sufriendo desgastes, que necesariamente obligan a un aumento de las frecuencias de fallas de servicio y los costos de mantenimiento se incrementan; además, el cambio de repuestos es más costoso debido a la dificultad de obtenerlos, por no tener existencia en las bodegas y que el fabricante no garantice la existencia de estos por periodos muy grandes. Por otro lado, un aumento en la frecuencia de fallas del servicio, causa pérdidas en el ingreso que origina la prestación del mismo, de tal manera que

estos costos aumentan en forma considerable, hasta ser prácticamente prohibitivos al final de la vida de la maquinaria. (Hernández Cruz, 2010)

Se define habitualmente mantenimiento como un conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento. A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, la función mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial, los propios operarios se encargaban de las reparaciones de los equipos. Cuando las maquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos. A partir de la Primera Guerra Mundial, de la Segunda y sobre todo tras atravesar una grave crisis energética en el 73, empieza a concebirse el concepto de fiabilidad. Se desarrollan nuevos métodos de trabajo que hacen avanzar las técnicas de mantenimiento en varias vertientes: En la robustez del diseño a prueba de fallos, en el mantenimiento por condición como alternativa al mantenimiento sistemático, en el análisis de fallos tanto los que han ocurrido como los que tienen una probabilidad tangible de ocurrir, en el uso de la informática para el manejo de todos los datos que se manejan ahora en mantenimiento, y en la implicación de toda la organización en el mantenimiento de las instalaciones. Por desgracia, muchas empresas todavía no han sufrido esta evolución en el mantenimiento y siguen ancladas en la oscura prehistoria del mantenimiento moderno. En muchas de ellas sigue siendo la reparación urgente de averías la que dirige la actividad de mantenimiento, es la planta la que dicta lo que debe hacerse y no los profesionales a cargo de la instalación. El porcentaje de empresas que dedican todos sus esfuerzos a mantenimiento correctivo es muy alto, Son muchos los responsables de mantenimiento, tanto de empresas grandes como pequeñas, que creen que la gestión del mantenimiento, la implantación de TPM o RCM, el análisis de fallos potenciales o incluso la simple elaboración de un plan de mantenimiento

programado son conceptos muy interesantes en el campo teórico, pero que en la planta que dirigen no son aplicables: parten de la idea de que la urgencia de las reparaciones es la que marca y marcará siempre las pautas a seguir en el departamento de mantenimiento. (García Garrido, 2012)

1.3.2.1. Plan de mantenimiento preventivo

Un sistema de mantenimiento preventivo efectivo no sucede al azar, debe planificarse. El análisis de los equipos, el desarrollo de tareas de MP, la confección de listas de verificación y de un buen historial de los equipos y la presentación de informes útiles son todas las actividades que se deben planificar y desarrollar cuidadosamente. Un sistema personalizado de MP que responda a las necesidades de sus equipos y que esté respaldado por todas las personas de la planta, producirá los mejores resultados, que se mantendrán a lo largo del tiempo. (TECSUP, 2019)

Un plan de mantenimiento preventivo tiene como objetivo poder mantener constantemente en perfecto estado de funcionamiento la maquinaria para lograr su máximo rendimiento y con un mínimo costo. (Hernández Cruz, 2010)

Existen muchos aspectos que influyen en el desarrollo de un sistema de MP que se adaptará a su tipo de empresa, pero todos deben considerar los siguientes pasos básicos para la instalación de un MP efectivo:

- Paso 1: Realización de inventario de equipos

Permite obtener datos de los equipos, para conocer el tipo, cantidad y estado de cada uno de ellos. Muchas empresas tienen una lista computarizada del inventario de los equipos o dispone de un kardex de datos de equipos. Si no es el caso, deberá recopilar datos de todas sus máquinas. Los datos mínimos que se incluyen son:

1. Tipo de equipo.
2. Descripción, fabricante.

3. Ubicación exacta.
4. Costos (de MP, depreciación y demás).
5. Datos de placa (HP, Voltaje y otros).
6. Lectura de su vida útil en la unidad adecuada.
7. Actualizaciones o cambios efectuados.
8. Referencias a la lista de repuestos y a los planos.
9. Referencia a los manuales.

- **Paso 2: Asignar tipo de MP y criticidad**

Es lo que nos va a permitir decidir qué mantenimiento realizar y cuán importante es cada máquina en nuestro sistema. Debemos tomar algunas decisiones básicas respecto al mantenimiento preventivo de cada máquina. Para ello nos preguntarnos:

1. ¿Incluimos el MP llevado a cabo por el operador?
2. ¿Se realizará ahora o después?
3. ¿Es el tipo de máquina donde los operadores no podrán realizar ningún tipo de MP?
4. ¿Desea incluir esta máquina para el MPd?

- **Paso 3: Hacer lista de verificación de MP**

Cada máquina tiene su propia lista de verificación, conteniendo típicamente tareas estandarizadas, que aparecerán en otras listas de verificación, tales como tareas de limpieza, chequeo de fugas, búsqueda de pernos flojos, etc. Puede haber diferentes listas de chequeo para tareas diarias, semanales, mensuales o una sola desarrollada para cubrir todas las frecuencias. Las listas de verificación del MP no contienen normalmente repuestos, excepto materiales simples (tales como filtros, lubricantes y demás) los cuales están disponibles en la máquina. De la misma manera, éstas sólo deben incluir herramientas simples (o en lo posible no). Deberá estimarse el tiempo requerido para realizar cada lista de chequeo para propósitos de planificación y control.

Estas listas de verificación son de dos tipos: una cubre las tareas del MP realizadas mientras la máquina está operando, por ejemplo, para detectar

sobrecalentamientos o vibración excesiva. Otros trabajos, tales como el chequeo de la tensión de una faja en V o la limpieza interna, sólo pueden ser realizadas cuando la máquina está detenida completamente. Aquí el objetivo es realizar la mayor cantidad posible de tareas de MP cuando la máquina esté operando, de tal manera que se limite el tiempo de la máquina fuera de producción.

- **Paso 4: Desarrollar órdenes de trabajo de MP**

Al contrario de una lista de chequeo, las OT requieren listas de herramientas y materiales y son normalmente realizadas por el personal de mantenimiento. Una OT es también rutinaria y repetitiva, pero normalmente a menor frecuencia; por ejemplo, mensual, trimestral o anualmente. Sin embargo, éste no es un MP global. Cada OT está relacionada a una máquina y permite definir la manera cómo se va a ejecutar la tarea de MP o MPD indicando los recursos que se van a requerir y, por lo tanto, el costo que va a representar. Es necesario elaborar un plan y un programa para establecer cómo y cuándo se va a ejecutar. Toda OT debe incluir:

1. El tipo de trabajo.
2. Descripción del trabajo.
3. El lugar de ejecución del trabajo.
4. El tiempo estimado necesario.
5. Los tipos de especialistas necesarios
6. Las herramientas indispensables y equipos especiales.
7. Los repuestos y demás materiales que se necesiten.
8. Bosquejos, planos

- **Paso 5: Crear hoja de ruta del MP**

La hoja de ruta del mantenimiento permite organizar los desplazamientos para realizar las listas de verificación y las OT's, de tal manera que el tiempo que toma esta actividad sea la mínima posible, mejorando así la

productividad del personal de mantenimiento. Al definir una ruta de MP se debe considerar:

1. Establecer rutas sólo para las tareas de MP realizadas por el departamento de mantenimiento.
2. Organizar listas de verificación u órdenes de trabajo de MP por área, tipo de equipo y trabajadores especializados (ningún viaje de ida y vuelta por cada MP).
3. Diferentes rutas para equipos en funcionamiento o cuando es necesario realizar paradas de equipo.
4. Incluir frecuencia en hoja de rutas (s, m, etc.).
5. Incluir el tiempo total estimado para cada ruta.

- **Paso 6: Desarrollar un programa de MP**

Existe normalmente un programa anual para cada máquina, conteniendo todas las frecuencias de MP. Este programa es estático (nada cambia), a menos que el MP sea activado por las horas de funcionamiento u otro contador. Bajo el TPM, encontrará que las listas de verificación e incluso, las programadas, llegan a ser más dinámicas, ya que existe la realimentación de los operadores y del personal de mantenimiento que permite modificar las tareas y los intervalos de tiempo programados. Se recomienda nivelar la carga de trabajo (la misma cantidad de horas o minutos por día) para tener una dotación de personal uniforme y un buen cumplimiento de las tareas de MP. También es importante limitar las interrupciones de producción combinando, por ejemplo, una tarea mensual con una trimestral para realizarse en el mismo momento, a pesar que uno de los ciclos necesite modificarse un poco.

- **Paso 7: Mantener una historia de los equipos**

Una buena historia de equipo es vital para manejar, mantener y mejorar las máquinas. Desafortunadamente, sólo pocas compañías mantienen y utilizan una historia de equipos bien organizada. Sin ella, no podríamos indicar las fallas repetitivas o establecer los costos totales de reparación

para poderlo comparar con el costo de reemplazo. Una buena historia de equipos se necesita para:

1. Evaluar el rendimiento de sus equipos a través del tiempo.
2. Detectar fallas repetitivas.
3. Determinar el costo anual total de reparación y compararlo con el costo de reemplazo.
4. Determinar la efectividad (ROI) de sus programas de MP.
5. Ajustar sus esfuerzos de MP.
6. Desarrollar un buen enfoque para el mejoramiento de los equipos, utilizando la retroalimentación para ajustar el MP y MPd y poder determinar los mejoramientos que requieren los equipos.

- **Paso 8: Aplicar tecnología de código de barras**

Muchas empresas en el mundo están introduciendo la alta tecnología del código de barras para administrar y controlar las actividades de mantenimiento. El código de barras es muy común en los supermercados y muchas tiendas de artículos, y también en las áreas de producción para controlar el inventario, pero no es frecuente en mantenimiento. Este sistema provee muchas ventajas, siendo la principal, la eliminación del llenado de formatos, algo que mucha gente de mantenimiento parece no hacerlo correctamente. Veamos cómo trabaja:

1. Las órdenes de trabajo, los elementos de MP y todos los demás documentos están impresos con código de barras.
2. Las credenciales del personal y de todos los equipos tienen códigos de barras.
3. Las piezas emitidas (y el control de inventario) se maneja por código de barras.
4. La computadora capta todos los datos de trabajo y el tiempo transcurrido.
5. La computadora cierra una tarea y la elimina del archivo de OT abiertas.
6. La computadora ingresa la tarea en la historia del equipo, incluyendo la fecha, la descripción del trabajo, los costos y tiempo empleado de

mano de obra, costo de materiales empleados, costo total, y el porcentaje respecto al costo de reemplazo del equipo.

- **Paso 9: Desarrollo de un sistema de informes del MP**

Desafortunadamente, muchas empresas vuelan ciegamente cuando se trata de realizar una buena gestión del MP. La ausencia de informes de MP útiles es un factor que contribuye. Se emplea la mayor cantidad de tiempo y esfuerzo respondiendo a las paradas de máquina y las tareas de MP y se deja de lado la planificación de un informe básico. En tales condiciones, es difícil progresar, dejando que sólo se produzcan los hechos. No debemos dejar que esto suceda. El MP debe alcanzar un alto grado de compromiso y disciplina. También debemos tener paciencia ya que los resultados no se muestran inmediatamente. Cuando éstos se deben mostrar, necesitamos documentos que permitan justificar la inversión realizada en MP. Por esta razón, hay dos tipos de informes. Un tipo nos dice cuán bien estamos realizando las tareas de MP y el otro nos dice qué éxito hemos alcanzado con las actividades de MP, con respecto a un impacto positivo en nuestros equipos. Los informes de control deben ser:

1. Distribuidos oportunamente.
2. Revisados inmediatamente.
3. Discutidos entre niveles administrativos de acuerdo con las responsabilidades.

- **Paso 10: Organización del MP**

El sistema de MP descrito puede ser efectivo si se apoya en una buena organización de MP. Se debe considerar lo siguiente:

1. Se recomienda personal dedicado (especialistas de MP que trabajen exclusivamente para el PM durante períodos de tiempo bien establecidos y que cumplan con la programación).
2. Determinar el número de personas requeridas (para el departamento de mantenimiento). Sumando el tiempo estimado de todas las tareas de MP (OT, listas de verificación) y agregando el tiempo de desplazamiento y tolerancias, nos darán las horas totales de trabajo

por semana. Dividiendo este número por las horas de trabajo por semana obtenemos el número de personas necesarias.

3. Desarrollar una estructura organizacional (incluyendo un planificador de MP si la cantidad de personas del área de mantenimiento es mayor que 10).

1.3.2.2. Principales indicadores de mantenimiento

Existe una diversidad de indicadores para evaluar todas las actividades de mantenimiento, pero consideramos que MTBF, MTTF, MTTR y Disponibilidad son los indispensables en toda efectiva gestión del mantenimiento. (Muñoz Abella, 2012)

Existe una diversidad de indicadores para evaluar todas las actividades de mantenimiento. Pero consideramos indispensable en toda efectiva gestión del mantenimiento agrupar los indicadores según la orientación de los mismos, como indicadores de gestión de equipos: tiempo promedio entre fallas (MTBF), tiempo promedio para la falla (MTTF), tiempo promedio para reparación (MTTR) y disponibilidad (A). (TECSUP, 2019)

- **Tiempo promedio entre fallas (MTBF)**

Se mide como el tiempo medio entre ciclos de mantenimiento o el tiempo medio entre dos fallos consecutivos (Mean Time Between Failures). Por ejemplo, si disponemos de un producto de N componentes operando durante un periodo de tiempo T, y suponemos que en este periodo han fallado varios componentes (algunos en varias ocasiones), para este caso el componente i habrá tenido n_i averías. (Muñoz Abella, 2012)

Empleado en sistemas en los que el tiempo de reparación es significativo con respecto al tiempo de operación (sistemas reparables).

Cálculo de MTBF

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}}$$

Fuente: (TECSUP, 2019)

- **Tiempo promedio para la falla (MTTF)**

El tiempo medio hasta la avería (Mean Time To Failure), es otro de los parámetros utilizados, junto con la tasa de fallos $\lambda(t)$ para especificar la calidad de un componente o de un sistema. Por ejemplo, si se ensayan N elementos idénticos desde el instante $t=0$, y se miden los tiempos de funcionamiento de cada uno hasta que se produzca alguna avería. (Muñoz Abella, 2012)

Empleado en sistemas no reparables (por ejemplo, satélites, fluorescentes) o en aquellos equipos donde el tiempo de reparación o sustitución no es significativo con relación a las horas de operación, el concepto es el mismo que el MTBF.

Cálculo de MTTF

$$MTTF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de fallas}}$$

Fuente: (TECSUP, 2019)

- **Tiempo promedio para reparación (MTTR)**

En la práctica la tasa de reparación se puede medir a través de la media de los tiempos técnicos de reparación (Mean Time To Repair), significa que el tiempo promedio que se tarda reparar el equipo cada vez que es intervenido, delo cual podemos analizar un equipo o equipos similares, extender el MTTR mejora la disponibilidad de los equipos. (Muñoz Abella, 2012)

Cálculo de MTTR

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{\text{Nº de reparaciones correctivas}}$$

Fuente: (TECSUP, 2019)

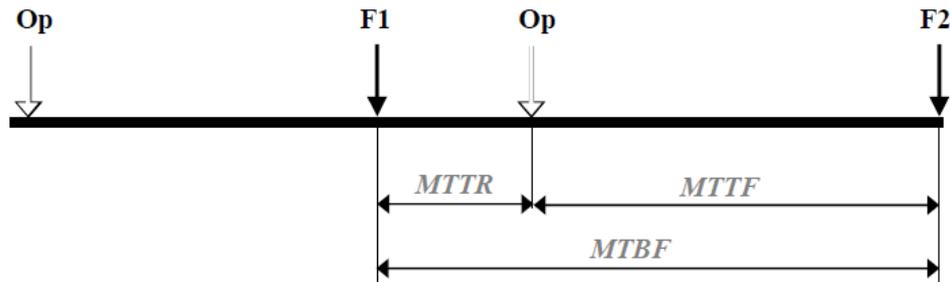


Figura 8. Relación entre MTTR, MTTF y MTBF

Fuente: (Muñoz Abella, 2012)

- Índice de Disponibilidad

El índice de disponibilidad es de gran importancia para la gestión de mantenimiento, pues a través de este, puede hacerse un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional esté por debajo de los estándares aceptables. (Sierra Álvarez, 2004)

La disponibilidad mecánica es el cociente entre el tiempo disponible para producir y el tiempo total de parada. Para calcularlo, es necesario obtener el tiempo disponible, como resta entre el tiempo total, el tiempo por paradas de mantenimiento programado y el tiempo por parada no programada. Una vez obtenido se divide el resultado entre el tiempo total del periodo considerado. (García Garrido, 2016)

Cálculo de Disponibilidad Mecánica

$$\text{Disponibilidad Mecánica} = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento}}{\text{Horas totales}}$$

Fuente: (García Garrido, 2016)

Las horas de parada por mantenimiento que deben computarse son tanto las horas debidas a paradas originadas por mantenimiento programado como el no programado.

También se le conoce como disponibilidad operativa (A_0) (TECSUP, 2020)

Cálculo de Disponibilidad Operativa

$$A = \frac{HL - PP - PR}{HL}$$

Fuente: (TECSUP, 2020)

HL= Horas laborables de la empresa, donde se excluyen domingos y feriados

PP = Paradas programadas para mantenimiento proactivo, también se incluyen las reparaciones programadas u overhauls.

PR = Paradas por mantenimiento reactivo (no programadas)

La disponibilidad es un indicador muy popular, siendo sus principales interpretaciones:

- Es un porcentaje de tiempo de buen funcionamiento del sistema, calculado sobre la base de un periodo largo.

- Es la probabilidad para que un instante cualquiera, el sistema (reparable) esté en funcionamiento.

Se considera que la disponibilidad debe ser mayor que 90% (TECSUP, 2019)

Para evaluar una sección con “n” equipos podemos emplear la siguiente fórmula:

$$A_{sección} = \frac{n \cdot HL - \sum_{i=1}^n PP - \sum_{i=1}^n PR}{n \cdot HL}$$

Se puede definir también una disponibilidad que depende sólo del diseño del equipo, a la que llamaremos Disponibilidad Inherente, de la siguiente manera:

Cálculo de Disponibilidad Inherente

$$A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Fuente: (TECSUP, 2019)

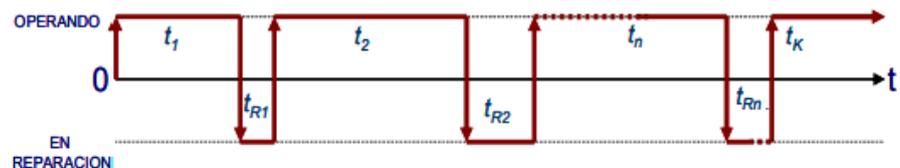


Figura 9. Diagrama de tiempo de operación y fuera de servicio

Fuente: (LubricarOnLine, 2018)

1.3.2.3. Sistema de criticidad

El sistema de criticidad clasifica a los equipos de acuerdo con su importancia en la planta o en caso de fallar, según los posibles daños o accidentes que pudiera ocasionar. Existen muchas posibilidades de establecer un sistema de criticidad, desde los más simples, como una lista de equipos en orden de

importancia, hasta los más complicados, haciendo depender al sistema de muchas variables. (TECSUP, 2019)

Se proponen aquí tres niveles de criticidad para los equipos:

- **Nivel de criticidad 1**

Es el nivel que se asigna al equipo que no debe fallar. Si este equipo fallara, habría que cerrar la planta, parte de la planta, o una línea de producción y ello ocasionaría una gran pérdida económica. Un equipo cuya falla ocasionaría daños corporales (accidentes) a los empleados, tales como calderos, grúas, elevadores, hornos, trenes de laminación, chancadoras, etc. también debe ser considerado en este nivel de Criticidad. Un equipo cuya falla ocasionaría importantes daños ambientales tales como derramamiento de hidrocarburos (combustibles, aceites u otros), productos químicos, y demás también debe considerarse como equipo de criticidad.

- **Nivel de criticidad 2**

Es el nivel que se asigna a los equipos que no deberían fallar. Continúa siendo un equipo importante, pero una falla en esa máquina no tendría un fuerte impacto en la planta, por muchas razones, como que existe otro similar disponible o que la falla toma poco tiempo en repararla o su parada no detiene la producción. Aquí estará la mayor cantidad de máquinas existentes.

- **Nivel de criticidad 3**

Es el nivel que se asigna a todo el resto de los equipos que van a ser considerados en el plan de mantenimiento Proactivo. Se tienen equipos a los cuales en caso de que no se encuentre el tiempo para realizar una tarea de MP se puede reprogramar, lo que no afectaría sustancialmente la efectividad del programa.

1.3.2.4. Tareas de mantenimiento

- **Conservación**

La conservación abarca todas las actividades que contribuyen a mantener el estado teórico de los recursos físicos. Los objetivos de los trabajos de conservación son: mantener la capacidad de funcionamiento de las instalaciones evitando que sufran fallas y disminuir la frecuencia de las fallas, aminorando el desgaste. Las medidas de conservación tienen un carácter preventivo. Al igual que los trabajos de inspección hay que realizarlas a intervalos regulares. También aquí los intervalos entre dos trabajos de conservación se pueden calcular de acuerdo con el tiempo, a la cantidad de horas de funcionamiento, a la cantidad de piezas o unidades elaboradas, etc. Además de los encargados de mantenimiento y del personal del área de producción, los operadores de los distintos equipos participan también en los trabajos de conservación. Al cuidar los recursos físicos, están ejecutando medidas decisivas de conservación. Es necesario que esto se considere como trabajo normal del personal que se ocupe de la conservación. (TECSUP, 2019)

- **Inspección**

Forman parte de la inspección todas las medidas que sirven para averiguar y evaluar el estado real de edificios y equipos de producción, tales como: máquinas, instalaciones e instrumentos técnicos de trabajo. La inspección consiste en examinar si esos equipos están en buen estado y funcionan correctamente. Cuanto más importante es el equipo (mayor criticidad), más y mejor se le debe inspeccionar. La inspección es una de las medidas preventivas propias del mantenimiento. Su carácter preventivo se manifiesta en el hecho que ellas se realizan a intervalos prefijados. El intervalo entre dos inspecciones se puede determinar con diversas unidades de medida. Por ejemplo, se puede repetir una inspección después de dos semanas o después de una determinada cantidad de días (en ambos casos se trata de unidades de tiempo). Pero también se puede fijar el intervalo según la cantidad de horas de funcionamiento de la máquina, o

bien se puede poner como intervalo una determinada cantidad de unidades de productos fabricados. (TECSUP, 2019)

- **Reparación**

Por trabajos de reparación se entienden todas las medidas que contribuyan a restaurar el estado teórico. (TECSUP, 2019)

Hay que distinguir dos tipos de reparaciones:

A. Reparación planificada

Se lleva a cabo cuando en la inspección se ha constatado un estado real que permita suponer que pronto va a producirse una falla. En tales casos se dispone de tiempo suficiente para planificar y preparar las medidas necesarias de mantenimiento. Esto tiene la ventaja de que la reparación se puede ejecutar en forma rápida y racional

B. Reparación no planificada

Resulta necesaria cuando se produce una falla repentina que no se había previsto. La causa de ese tipo de fallas puede radicar, por ejemplo, en fallas de material o de operación. Antes que se haga la reparación propiamente dicha es necesario examinar el tipo y la causa de la falla. Esto es lo que suele llamarse comprobación de daños. Esta constatación permite ver cuáles son concretamente las reparaciones que hay que efectuar.

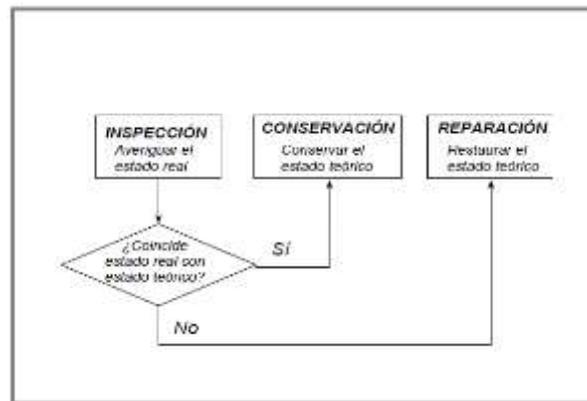


Figura 10. Relación entre las diferentes tareas de mantenimiento

Fuente: (TECSUP, 2019)

1.3.2.5. Técnicas de mantenimiento

- **Mantenimiento proactivo (MPA)**

Es el mantenimiento planificado y programado llevado a cabo con el fin de que la administración del mantenimiento sea más eficiente. Aquí se incorpora el concepto moderno de que las funciones de mantenimiento no deben corresponder únicamente al departamento de mantenimiento, sino que parte de esas funciones se deben asignar a los departamentos de producción, investigación y desarrollo, diseño ingeniería, compras y finanzas, así como a los proveedores, a la gerencia general y a los operadores. Este tipo de mantenimiento abarca el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo y el mantenimiento productivo total. (TECSUP, 2019)

A. Mantenimiento Predictivo (MPd)

Normalmente se realiza separadamente del MP, especialmente si lo realiza el departamento de ingeniería. Sin embargo, sirve para el mismo propósito que el MP: prevenir fallas del equipo, prediciendo cuando va a fallar un cierto componente, por ejemplo, un rodamiento, una caja de engranajes, o un motor. El MPd incluye una serie de pruebas y análisis (criterios) tales como análisis de vibraciones, pruebas de aislamiento, análisis espectrográfico de aceite,

termografía, inspección infrarroja, ensayos no destructivos y análisis acústico. Este tipo de mantenimiento utiliza aparatos de prueba sofisticados para ayudar a predecir cuándo fallará algún componente del equipo. Estos aparatos de prueba pueden estar incluso interactuando con un microprocesador para graficar tendencias de desgaste del equipo y mejorar las estimaciones sobre la condición del mismo. Tal sistema permite tomar decisiones lógicas como el reemplazo de partes gastadas en un turno de reparación, que no interfiera en producción. Este sistema ayuda a eliminar el establecimiento de estándares para el reemplazo de componentes. Esta clase de mantenimiento obviamente expande la definición histórica del MP. Hay compañías donde los operadores leen e interpretan señales de vibración en la computadora instalada en el equipo. Hay muchas otras compañías donde el personal de MP realiza todas las tareas de mantenimiento predictivo. (TECSUP, 2019)

B. Mantenimiento Preventivo (MP)

El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos. Con el fin de detectar condiciones o estados inadecuados de esos elementos, que pueden ocasionar circunstancialmente paros en la producción o deterioro grave de máquinas, equipos o instalaciones, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están aún en estado inicial de desarrollo. La función principal del mantenimiento preventivo es conocer el estado actual de los equipos, mediante los registros de control llevados en cada uno de ellos y en coordinación con el departamento de programación, para realizar la tarea preventiva en el momento más oportuno. Consiste en una serie de actuaciones sistemáticas en las que desmontan las máquinas y se observan para reparar o sustituir los elementos sometidos a desgaste. El mantenimiento preventivo se puede clasificar

en dos versiones, una de ellas basada en el tiempo, es decir, en la frecuencia de inspección, y la segunda basada en la condición de desgaste (o denominada condición de estado) encontrada en la última revisión. Ambas metodologías permiten fijar con antelación la próxima inspección a que tuviere lugar en el elemento o máquina. El primero de los métodos conduce al mantenimiento preventivo sistemático, y el segundo implica el mantenimiento preventivo condicional. Con el último se logra maximizar la vida útil del elemento y se consigue reducir los costos de mantenimiento. Ambas metodologías se basan en la permanente inspección y análisis crítico de las condiciones. Sus principales ventajas frente a otros tipos de tareas de mantenimiento son evitar averías mayores como consecuencia de pequeñas fallas, preparar las herramientas y repuestos, aprovechar realizar las reparaciones en el momento más oportuno tanto para producción como para mantenimiento, distribuye el trabajo de mantenimiento optimizando la cuadrilla de reparación y disminuye la frecuencia de los paros, pero los aprovecha para realizar varias reparaciones diferentes al mismo tiempo. (Mora Gutiérrez, 2009)

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la tercera es inevitable. Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina, en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina o grupo de máquinas similares, donde se realizarán las acciones necesarias, engrasan, cambian correas, desmontaje, limpieza, etc. (Maquinarias pesadas, 2020)

Es el proceso de servicios periódicos (rutinarios) al equipo. Este puede ser desde una rutina de lubricación hasta la adaptación, después de un

determinado tiempo, de piezas o componentes. El intervalo entre servicios puede ser en horas de operación número de cambios de operación, en tiempo (horas, días, semanas, meses, etc.). Una vez que se ha establecido el programa, se deberán realizar chequeos para verificar si el intervalo fijado es correcto. (TECSUP, 2019)

C. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El TPM en cualquier lugar del mundo de hoy, es un tema de conversación de los gerentes de mantenimiento, producción y planta, tratando de encontrar ya sea más información, o de implantarlo en su planta. Grandes compañías de todo el mundo occidental como Ford Motor, Motorola, Eastman Kodak, Texas Instruments, IBM y muchas otras han comenzado a instalar el TPM o ya han tenido éxito en ello. Parece ser una de las modas más importantes de la tecnología de la manufactura moderna. Mientras el TPM involucre, además del personal de mantenimiento y operadores, a ingenieros, vendedores, supervisores y otros, la mejora de la efectividad global del equipo estará claramente acompañada de un buen equipo de trabajo. Parte del mejoramiento y del mantenimiento de los equipos a su más alto nivel de rendimiento es adoptar metas ambiciosas. Como las metas “Cero defectos” de calidad de gestión, las metas del TPM son similares respecto de los equipos: cero tiempos de parada no planeada, cero productos defectuosos causados por equipos, cero pérdidas de velocidad de equipos. (TECSUP, 2019)

- Mantenimiento reactivo (MR)

Es el mantenimiento en el cual no se realiza ningún tipo de planificación ni programación. Corresponde así a las reparaciones imprevistas de fallas y se practica en las empresas, en aquellos componentes de bajo costo, donde el equipo es de una naturaleza auxiliar que no está directamente relacionado con la producción. Si se realizara en equipos directamente relacionados con la producción los costos de mantenimiento serían sumamente elevados.

Cuando el mantenimiento reactivo es reducido por las inspecciones de mantenimiento preventivo, la disponibilidad del equipo aumenta. Se debe tener cuidado en evitar ambos extremos. En algún lugar, a lo largo de la curva, está la situación más económica. (TECSUP, 2019)

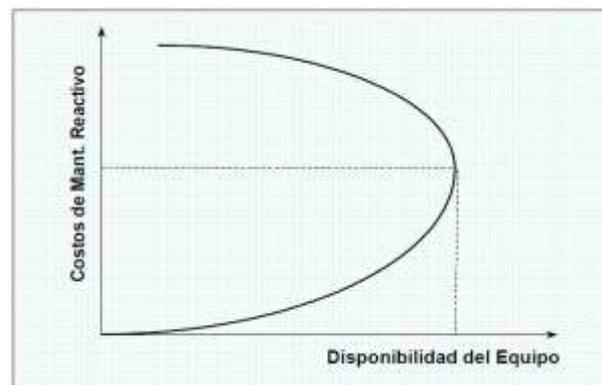


Figura 11. Efecto del mantenimiento reactivo sobre la disponibilidad

Fuente: (TECSUP, 2019)

1.3.2.6. Selección del proveedor de software

La selección de un proveedor de software no siempre es una tarea fácil. Esta decisión se verá muy influenciada en base a multitud de circunstancias en función del tipo de empresa, su tamaño, de si posee departamento de informática propio, la formación y capacitación de los usuarios, su resistencia al cambio, criterios puramente económicos, de afinidad con uno u otro proveedor, la especialización de éste, etc. Estos son los criterios que considero imprescindible analizar antes de tomar cualquier decisión sobre la elección de un proveedor de software. Partir de una selección errónea hará muy difícil lograr un éxito en la implantación de una herramienta TIC. (Martínez La Torre, 2012)

- Adaptación a la normativa vigente

Puede parecer una obviedad, pero la realidad es que algunos software no están localizados de forma suficiente, bien porque vienen de otros países con otras leyes y otras problemáticas, o porque no son lo bastante ágiles

para incorporar las nuevas normativas legales o bancarias en un mercado como el actual muy cambiante.

- **Criterio de afinidad y/o cercanía**

Se conoce al proveedor actual muchos años y en algunos casos se dan relaciones de amistad, lo que condiciona a una continuidad y evolución con su software. Pensemos que los humanos somos “per se” reacios a los cambios, de ahí la expresión “Más vale malo conocido que bueno por conocer”, por lo que nos sentimos mejor dentro de nuestra zona de confort, salirnos de ella implica desasosiego y temor.

- **Criterios económicos**

Por desgracia, éste suele ser uno de los criterios principales para la elección. Cuando no existe mucha “cultura informática”, éste es prácticamente el único criterio que se tiene en cuenta. Si a eso sumamos la difícil situación económica de crisis actualmente, este se convierte en un factor clave.

- **Conectividad**

El software debe poder ofrecer conectividad con otras herramientas, sobretodo de ofimática. Ello nos liberará de cierta dependencia del proveedor para algunos informes, mailings, etc.

- **Demostrada eficacia en empresas del sector**

Un sondeo sobre las empresas de la competencia con la intención de realizar una pre-evaluación del software es necesario si queremos asegurarnos de que el software cumple las especificaciones y posee las adaptaciones propias de nuestro sector.

- **Especialización de la consultoría**

Imprescindible la experiencia de los consultores en el sector y ámbito de actuación de la empresa. Deberá elegirse éstos con sobrada experiencia

en estas empresas y con tamaño similares con la finalidad de garantizar el éxito de la implantación.

- **Especialización/sectorización del software**

Mi opinión particular es que éste es el criterio más importante. Si mi negocio está orientado a la fabricación de artículos de descanso, por ejemplo, deberemos buscar el software que mejor se adapte a nuestra fabricación, y en el peor de los casos en los que no exista nada similar en el mercado, buscaríamos un software lo más similar posible: fabricación de tapizados, fabricación de muebles, etc. La elección de un software no especializado conducirá inevitablemente a la tensión entre cliente y proveedor debido a la detección de innumerables carencias relacionadas con la sectorización.

- **Migración de datos**

En ocasiones es necesario trasladar parte de la información del sistema anterior al actual. Esto podrá hacerse de forma manual o mediante la asistencia del propio proveedor. Éste deberá además asesorarnos sobre la conveniencia o no de esas migraciones en función de la compatibilidad de los datos.

- **Modularización de la herramienta**

Es decir, las necesidades de cada empresa no son las mismas, por lo tanto, debe permitir hacer la inversión en función de las necesidades de cada momento y de forma incremental. De esta forma, nos aseguramos la puesta en marcha de los módulos comprados y en un futuro la implementación según necesidades y nuevos requerimientos. Asimismo, evitaremos la aparición de costes ocultos e imprevistos.

- **Plataforma y evaluación del software**

Es conveniente dedicar un poco de tiempo a analizar las plataformas sobre las que está desarrollado el software: base de datos, lenguaje, etc. Conocerlos puede darnos una señal de su modernidad u obsolescencia.

En cuanto a la evolución del propio software, analizar la periodicidad de las versiones, si éstas suelen ser correcciones o nuevas prestaciones, el número de éstas, etc. Esto nos dará una muestra bastante fiable de lo “vivo” que se encuentra el software.

- **Reputación del software**

En ocasiones nos guiamos por la marca o notoriedad del software, ya sea porque conocemos a alguien que ha sufrido una implantación o simplemente porque nos suena por su publicidad. Este es uno de los criterios más delicados porque a pesar que un software se haya implementado con éxito en una empresa, esto no garantiza nada con respecto a la implantación en la nuestra. Cada empresa es única y cada implementación también.

- **Seguridad de la información**

Siempre hay información sensible que ha de ser protegida, tanto para agentes externos, como hacia determinados usuarios. Un buen sistema de configuración de menús, niveles de acceso, roles de usuario, así como de auditoría de datos, aportarán un plus de confianza adicional hacia el nuevo sistema.

- **Software a medida**

Es el caso contrario al anterior, el proveedor nos ofrece no solo un producto, sino todas las mejoras que se nos ocurran. Esto podría estar justificado si nuestra empresa perteneciese a un nicho muy especializado para el que no se encuentra un software que cumpla las especificaciones, y por tanto, hay que hacer grandes desarrollos sobre uno ya preexistente para su adaptación. En cualquier otro caso, estamos condenados a la obsolescencia del producto debido a la dificultad por parte del proveedor de mantener software personalizado para cada empresa.

- **Software cerrado**

El proveedor nos vende un paquete totalmente cerrado, sin posibilidad de cambios, o en su defecto, adaptaciones particularizadas que nos llevarán fuera de su versión estándar. Esto no es un problema inicialmente, pero sí a medio plazo, pues nos condenará a un sistema dependiente del proveedor y no evolutivo. Cualquier evolución pasará por una actualización de esos desarrollos, la mayoría de veces, penalizado con nuevos pagos.

- **Soporte, atención post-venta y servicios de mantenimiento**

Éste ha de ser el resultado y continuación de una consultoría especializada. La implantación de un software tiene un principio, pero no es fácil establecer un fin, por lo que una vez puesto en marcha el software, habrá un tiempo de indudable necesidad de soporte y ayuda. La realización de un mantenimiento no solo correctivo, sino también preventivo, tanto en base de datos como en el propio software nos asegurará una mejora en la eficiencia de la herramienta.

1.3.3. Metodología 5S

La relación de las 5S con nuestras vidas personales parte del hecho de que muchas veces, e incluso sin darnos cuenta, cuando realizamos actividades propias del hogar como el mantener organizados y en los lugares apropiados artículos tales como: La basura, las toallas, las herramientas, la ropa, etc., se encuentra que muchos de esos artículos o sobran o están mal ubicados, por lo tanto, cuando la casa está sucia da sensación de desánimo, pereza, desorden. Lo que es peor en el lugar de trabajo; y bajo estas condiciones se tiende a funcionar de una manera menos eficiente. (Arrieta, 2012)

Los principios 5S son fáciles de entender y su puesta en marcha no requiere ni un conocimiento particular ni grandes inversiones financieras. Sin embargo, detrás de esta aparente simplicidad, se esconde una herramienta potente y multifuncional a la que pocas empresas le han conseguido sacar todo el

beneficio posible. Su implantación tiene por objetivo evitar que se presenten los siguientes síntomas disfuncionales en la empresa y que afectan, decisivamente, a la eficiencia de la misma: Aspecto sucio de la planta (máquinas, instalaciones, técnicas, etc.), desorden (pasillos ocupados, técnicas sueltas, embalajes, etc.), elementos rotos (mobiliario, cristales, señales, topes, indicadores, etc.), falta de instrucciones sencillas de operación, y número de averías más frecuentes de lo normal. (Desposorio Pulido & Rosario Ulco, 2017)

Después de transformarse en una gran potencia económica, en la década de los 80s, Japón pasó a ser motivo de investigaciones, y es así que en los 90s cuando fue difundido el movimiento por la Calidad Total en el Occidente, siendo la metodología 5S la herramienta más utilizada principalmente para formar una cultura de combate al desperdicio, a la falta de orden, a la suciedad, a la falta de higiene y a la falta de disciplina para mantenimiento del orden y de la limpieza en los ambientes de trabajo. Metodología japonesa utilizada comúnmente durante la implementación de sistemas de calidad total, con el propósito de ejecutar la cultura de calidad. El principal objetivo de la metodología es desarrollar un ambiente de trabajo agradable y eficiente, el cual permita el correcto desempeño de las operaciones diarias, logrando así los estándares de calidad, de precio y condiciones de entrega requeridos por el cliente. Esta metodología está incluida dentro de lo que se conoce como MEJORA CONTINUA o “KAIZEN” que está orientado como el ciclo de Demming (PDCA/PHVA). Las 5S abarcan desde un puesto ubicado en una línea de producción cualquiera hasta el escritorio en una oficina administrativa. (TECSUP, 2020)

1.3.3.1. Seiri

Consiste en retirar de la estación de trabajo todo aquello que no es necesario y que no cumple funciones dentro de las operaciones de producción o gestión de las oficinas. Consiste en definir y distinguir claramente entre lo que no se necesita y se retira y lo que se necesita y se guarda. El SEIRI no quiere decir alinear las cosas en filas, quiere decir eliminar lo que no se necesita, aunque

al principio sea muy difícil distinguir entre lo que se necesita y lo que no. Mientras se toma la decisión de desechar lo que no se usa, en las fábricas, así como en las casas se va generando: un inventario en exceso que origina gastos extras relacionados con el mismo, aparece súbitamente la necesidad de mayor cantidad de espacio para almacenar y se necesitan más estanterías y archivadores, se requieren carros de transporte extra, aparecen obsoletos y averías tanto en productos como en materias primas, se hace más difícil el flujo de materiales dentro de la planta.

1.3.3.2. Seiton

Orden significa mucho más que una apariencia de orden. Inclusive el desorden se puede ordenar, aunque no sea el orden adecuado. Más aun después de haber desechado, si no se ordena, no se avanza dentro del proceso de las 5S. El orden dentro de las 5S se puede definir como la organización de los elementos necesarios de modo que sean de uso fácil y etiquetarlos para que se encuentren y retiren fácilmente por los operarios. Se hace énfasis en “por cada uno” debido a que este es el objeto central del enfoque 5S, que el operario se capaz de encontrar todo lo que necesita para su labor y entienda más fácilmente el orden de las cosas en la planta.

1.3.3.3. Seiso

Este plan hace referencia a lo que se realizar en cada una de nuestra casa; la limpieza; aunque algunos operarios e inclusive algunos directivos piensan que esto es algo doméstico; que en las empresas existe personal propio asignado a esas tareas. Concepto equivocado puesto que a nadie le gustaría un lugar deseado, y el personal normalmente adscrito a labores de aseo no logra hacerlo en el grado que propone las 5S. No porque sean incapaces, sino porque el operario es quien mejor conoce su máquina y sabe qué limpiar y cómo hacerlo. En una fábrica la limpieza está estrechamente relacionada con la capacidad de obtener productos de excelente calidad. La limpieza también incluye el buscar y diseñar modos de evitar que la suciedad, polvo, virutas, grasas, etc. Se acumulen en los centros de trabajo. Limpieza no es solo básico

de barrer y limpiar máquinas; es algo que se debe integrar a las tareas diarias de mantenimiento dentro de la organización. Solamente con una adecuada limpieza el trabajador se puede dar cuenta de que algo funciona mal en su máquina o centro de trabajo. Ya sea que existan fugas, olores, recalentamientos; se necesita y desea que con esta actividad el operario se haga participe del mantenimiento de su propia maquina o centro de trabajo.

1.3.3.4. Seiketsu

Se logra cuando se trabajan y mantienen los tres pilares anteriores. Dentro del desarrollo de este estado de limpieza no se realiza una actividad como tal, sino que los mismos trabajadores se plantean retos e interrogantes con el propósito de lograr y diseñar dispositivos y mecanismos, que permitan mantener la limpieza en el centro de trabajo o en las máquinas; a decir: colocación de cubiertas en las máquinas para evitar que caigan virutas al suelo o colocación de tanques de almacenamiento y redistribución de lubricantes para evitar que éste se derrame por el suelo den centro de trabajo.

1.3.3.5. Shitsuke

La disciplina consiste en convertir en un hábito el seguimiento y mantenimiento apropiado de los pilares anteriormente mencionados. Como en todo proceso que involucre disciplina, se requiere de energía por parte de las directivas para el correcto cumplimiento de lo establecido en las etapas anteriores.

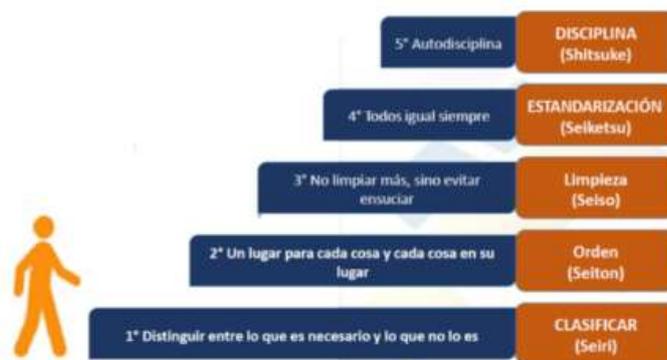


Figura 12. Estrategia de las 5S

Fuente: (TECSUP, 2020)

1.4. Definición de términos

- **AMFE (Análisis Modal de Fallas y Efectos):** Es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención. (Salazar López, 2021)
- **Criticidad:** Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo. (Pablo-Romero Carranza, 2013)
- **Diagrama de ishikawa:** Es una herramienta de la calidad que ayuda a levantar las causas-raíces de un problema, analizando todos los factores que involucran la ejecución del proceso. En la metodología, todo problema tiene causas específicas, y esas causas deben ser analizadas y probadas, una a una, a fin de comprobar cuál de ellas está realmente causando el efecto (problema) que se quiere eliminar. (Arenhart de Bastiani, 2018)
- **Disponibilidad mecánica:** Es la probabilidad de que un equipo funciona satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo de mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico. (Rodríguez Barreto, 2006)
- **Flujo de caja:** El punto de partida de la evaluación financiera de una empresa es la construcción de los flujos de caja proyectados que en un horizonte temporal determinado serían hipotéticamente generados. El flujo de caja es el registro de todos los ingresos y egresos a la caja a lo largo del tiempo. Dicho flujo se puede

proyectar para efectos de la evaluación de la viabilidad de un proyecto. (ESAN, 2016)

- **Gestión de mantenimiento:** Es un conjunto de procedimientos realizados a fin de conservar en óptimas condiciones de servicio a los equipos, maquinaria, e instalaciones de una planta (fábrica), garantizando el correcto funcionamiento del proceso de producción industrial. (IntegraMarkets, 2018)
- **Indicador de gestión:** Es la expresión cuantitativa del comportamiento y desempeño de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas según el caso. (TECSUP, 2020)
- **Las 5S:** Son bloques sobre los cuales se puede instalar la producción en flujo, el control visual y en muchos casos, apoyar al justo a tiempo (JIT). Las 5S vienen de cinco palabras japonesas que inician con la letra S, ellas son: SEIRI: Arreglo apropiado (organización), SEITON: Orden. SEISO: Limpieza. SEIKETSU: Estado de limpieza o pureza (limpieza estandarizada) y SHITSUKE: Disciplina. El objetivo central de las 5S es lograr el funcionamiento más eficiente y uniforme más eficiente y uniforme de las personas en los centros de trabajo. (Arrieta, 2012)
- **Ley de Pareto:** También conocida como la regla del 80/20 establece que, de forma general y para un amplio número de fenómenos, aproximadamente el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas. Nos puede servir como referencia para centrarnos en lo que realmente importa, en lo que nos puede dar mayores satisfacciones con menores esfuerzos, sin malgastar energías y recursos en obtener pobres resultados. (Cepyme, 2019)
- **Matriz de criticidad:** Es una herramienta que permite cuantificar las consecuencias o impactos de las fallas de los componentes de un sistema, y la frecuencia con que se presentan para establecer tareas de mantenimiento en aquellas áreas que están generando mayor repercusión en la funcionalidad, confiabilidad,

mantenibilidad, riesgos y costos totales, con el fin de mitigarlas o eliminarlas por completo. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

- **Matriz de priorización:** Es una herramienta de gestión y control de proyectos que se utiliza para determinar problemas clave y evaluar las alternativas apropiadas ante un objetivo determinado. Para crear una de estas matrices, las cuestiones claves deben priorizarse y ponderarse antes de que las opciones de acción posible puedan aplicarse. Gracias a esta herramienta, se obtiene una puntuación para clasificar las diferentes posibilidades de implementación. Las opciones que obtienen más puntos son las más viables y beneficiosas de llevar a cabo. (Martín, 2018)

- **Modo de falla:** Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo. Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado. Hechos que pueden haber causado cada estado de falla. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

- **Plan de capacitación:** Es un proceso que va desde la detección de necesidades de capacitación en función a los objetivos del negocio, es preciso determinar que habilidades son las que requiere la empresa en corto, mediano y largo plazo, hasta la evaluación de los resultados. (ESAN, 2016)

- **Software de mantenimiento:** Es una aplicación de gestión de mantenimiento asistido por computador de entorno amigable e intuitivo, de manera que los departamentos de mantenimiento puedan evitar el uso de papel y puedan disminuir sus costes de carga de datos para mejor control y simplificación de las operaciones de mantenimiento. (García Garrido, 2019)

1.5. Formulación del problema

¿En qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en una municipalidad?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar en qué medida la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en una municipalidad.

1.6.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento.
- Desarrollar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada.
- Evaluar los indicadores de gestión de equipos.
- Evaluar económica y financieramente la propuesta.

1.7. Hipótesis

La propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora a 90% la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en una municipalidad.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

De acuerdo al diseño de investigación, la investigación propuesta es Experimental, debido a que el proceso será demostrar que los cambios en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente. Es decir, se pretende establecer con precisión una relación causa y efecto. (Arias, 2006)

Asimismo, de acuerdo al diseño básico de la investigación experimental es Pre Experimental, debido a que se realizará una pre evaluación para conocer la situación en que se encuentra actualmente, para luego aplicar la propuesta de mejora, finalmente una post evaluación con el propósito de comparar los resultados y verificar si se llegó a cumplir los objetivos planteados.



Donde:

- O1** : Situación actual de la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada
X : Plan de mantenimiento preventivo
O2 : Mejora de la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

Tabla 3

Técnicas e instrumentos

OBJETIVO ESPECÍFICO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Diagnosticar el estado actual de la gestión de mantenimiento.	Entrevista Observación	Guías técnicas del fabricante Ficha de equipos críticos y funciones Ficha de consecuencias modo de falla Entrevista a especialistas en maquinaria pesada

Desarrollar el plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada	Entrevista Observación	Ficha tareas de mantenimiento Lista de verificación Formato de inspección Entrevista a especialistas en maquinaria pesada
Evaluar los indicadores de gestión de equipos ((MTBF, MTTR y Disponibilidad)	Análisis de datos	Plantilla de registro de datos y cálculo de indicadores
Evaluar económica y financieramente la propuesta	Análisis de datos	Flujo de caja proyectado

Elaboración: El autor

2.3. Procedimientos

2.3.1. Generalidades de la empresa

La municipalidad es el órgano de gobierno local, que emana de la voluntad popular, tiene personería jurídica de derecho público, goza de autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia y ejerce las funciones y atribuciones que señala los artículos 191° y 192° de la Constitución Política del Perú. Es competencias de la municipalidad promover el desarrollo local, según lo establece el artículo 4° de la Ley N° 27972 – Ley Orgánica de Municipalidades, que indica que los gobiernos locales representan al vecindario, promueven la adecuada prestación de los servicios públicos locales y el desarrollo integral, sostenible y armónico de su circunscripción. Asimismo, el artículo 73°, establece que las municipalidad provincial o distrital, ejercen las funciones específicas señaladas en el Capítulo II de la presente Ley y asumen las competencias, con carácter exclusivo o compartido, en las materias siguientes: (a) Organización del espacio físico - Uso del suelo, (b) Servicios públicos locales, (c) Protección y conservación del ambiente, (d) En materia de desarrollo y economía local, (e) En materia de participación vecinal, (f) En materia de servicios sociales locales, (g) Prevención, rehabilitación y lucha contra el consumo de drogas. (Presidencia Constitucional de La República, 2003)

La municipalidad es el Órgano de Gobierno Local en la jurisdicción, como tal, es la entidad básica de la organización territorial del Estado y el canal inmediato de participación vecinal y asuntos públicos que institucionaliza y gestiona con autonomía los intereses propios de la colectividad en concordancia con su Misión y Objetivos establecidos. La municipalidad es un Órgano del Estado Peruano, promotor del desarrollo económico local, con personería jurídica de derecho público, con autonomía política, económica y administrativa en los asuntos de su competencia, y con atribuciones, competencias y funciones que se ejercerán con sujeción al ordenamiento jurídico establecido. Ejerce el Gobierno Local en su jurisdicción, la cual constituye una circunscripción político administrativa de nivel distrital, que determina el ámbito territorial de gobierno y administración del Estado, que cuenta con una población caracterizada por su identidad, cultura y un ámbito geográfico, que sirve de soporte de sus relaciones sociales, económicas y administrativas. (Municipalidad Distrital El Porvenir, 2015)

2.3.1.1. Funciones de la entidad municipal

La municipalidad tiene como función específica compartida, ejecutar directamente o proveer la ejecución de las obras de infraestructura urbana o rural que sean indispensables para el desenvolvimiento de la vida del vecindario, la producción, el comercio, el transporte y la comunicación en el distrito, tales como pistas o calzadas, vías, puentes, parques, mercados, canales de irrigación, locales comunales, y obras similares, en coordinación con la municipalidad provincial respectiva. (Presidencia Constitucional de La República, 2003)

La municipalidad tiene como función general, planificar y ejecutar a través de los órganos competentes, programas, proyectos, actividades y un conjunto de acciones que contribuyan a proporcionar al vecino, el ambiente adecuado para la satisfacción de sus necesidades vitales en aspectos de vivienda, salubridad, abastecimiento, educación, recreación y seguridad. La municipalidad representa al vecindario, promueve la inversión pública y

privada, el empleo, la adecuada prestación de los servicios públicos locales y el desarrollo integral, sostenible y armónico de su circunscripción, garantizando el ejercicio pleno de los derechos y la igualdad de oportunidades de sus habitantes. (Municipalidad Distrital El Porvenir, 2015)

2.3.1.2. Visión de la entidad municipal

Ciudad vivible, competitiva y sostenible, con mujeres y hombres en igualdad de oportunidades y con cultura de paz.

2.3.1.3. Misión de la entidad municipal

Somos una institución que promueve en forma concertada el desarrollo integral del distrito, con una gestión transparente y equitativa, con un entorno ordenado y seguro, fomentando la actividad empresarial, al contar con un territorio integrado, saludable y con servicios de calidad.

2.3.1.4. Estructura organizacional de una municipalidad

La entidad presenta una organización vertical.

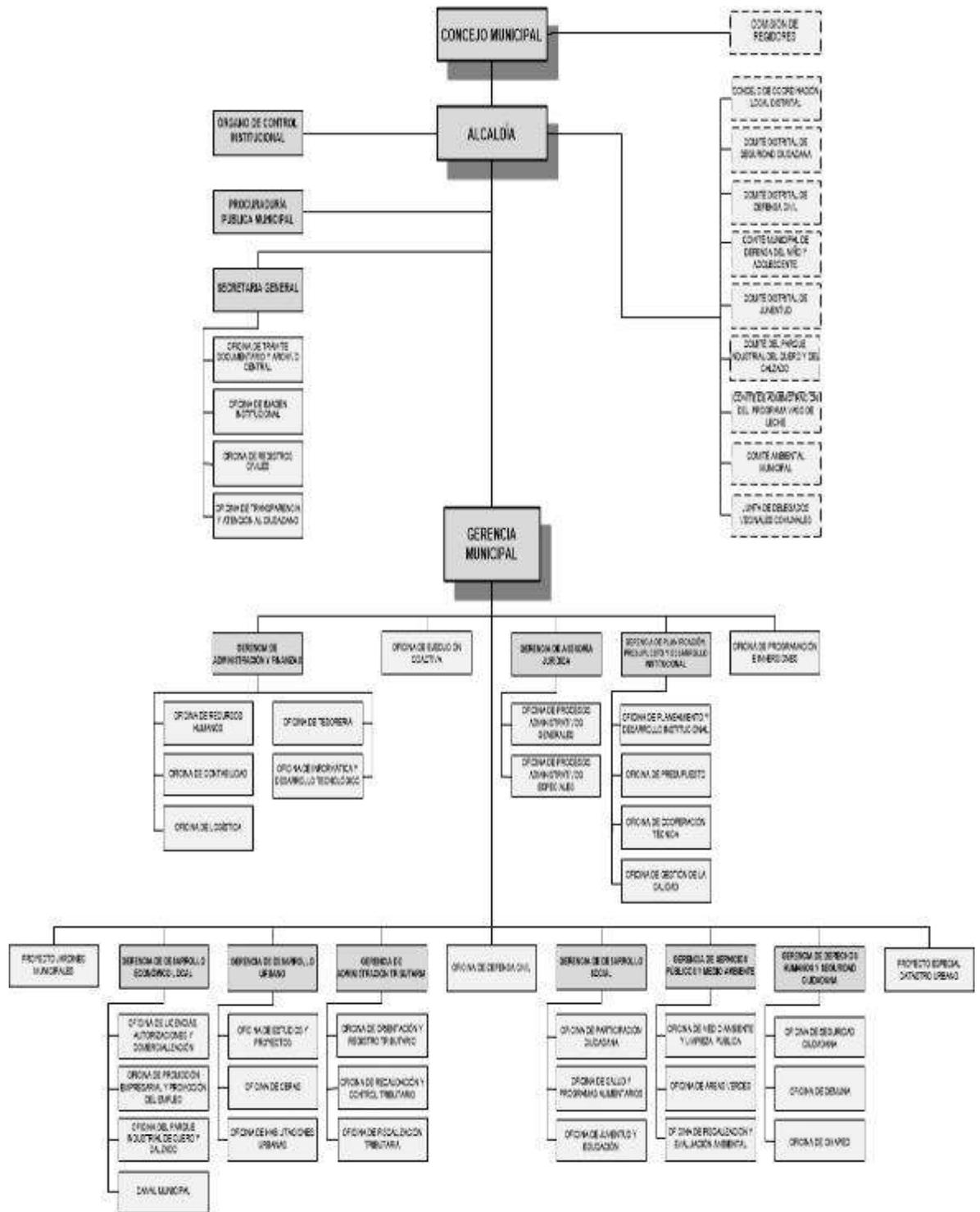


Figura 13. Estructura orgánica de una municipalidad

Fuente: (Municipalidad Distrital El Porvenir, 2015)

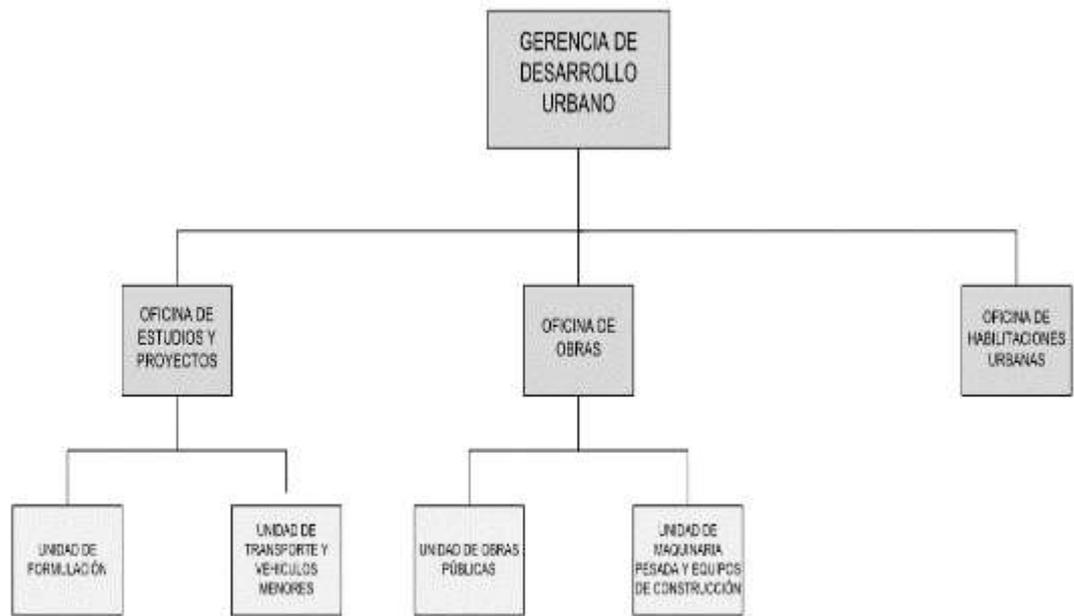


Figura 14. Estructura orgánica de una gerencia de desarrollo urbano

Fuente: (Municipalidad Distrital El Porvenir, 2015)

2.3.1.5. Área objeto de análisis

La Unidad de Maquinaria Pesada y Equipos de Construcción es la unidad orgánica encargada de brindar los servicios públicos, mediante la explotación y/o alquiler de maquinaria pesada y equipos de propiedad municipal. Está a cargo del Jefe de la Unidad de Maquinaria Pesada y Equipos de Construcción quien depende del Jefe de la Oficina de Obras.

Son funciones de la Unidad de Maquinaria Pesada y Equipos de Construcción:

- a. Planificar, organizar y proponer las políticas de gestión interna para la operatividad de la maquinaria pesada y equipos.
- b. Organizar, dirigir, controlar y supervisar las actividades técnico-administrativas de los servicios que presta.

- c. Programar, organizar, dirigir, ejecutar, coordinar y supervisar el mantenimiento, reparación, conservación, y uso de la maquinaria pesada y equipos.
- d. Llevar, organizar, implementar y actualizar el registro general de la maquinaria pesada y equipos existentes.
- e. Efectuar el mantenimiento preventivo, correctivo y reparación de la maquinaria pesada y equipos.
- f. Supervisar y controlar el uso adecuado de la maquinaria pesada y equipos.
- g. Formular, exhibir y difundir el cuadro situacional de la maquinaria pesada y equipos.
- h. Coordinar la selección adecuada de operadores.
- i. Elaborar informes situacionales y/o diagnóstico sobre la maquinaria pesada.
- j. Informar sobre las ocurrencias diarias y la ubicación de la maquinaria pesada.
- k. Elaborar el Plan Anual de repotenciación de la maquinaria pesada.
- l. Elaborar la estructura de costos por hora máquina de la maquinaria pesada y equipos.
- m. Otras funciones que le asigne la Oficina de Obras en materia de su competencia.

2.3.2. Diagnóstico del área problemática

Como se mencionó en la realidad problemática en la actualidad la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción de una municipalidad se enfrenta a la baja disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada, por lo cual para la identificación del problema se elaboró el Diagrama de Ishikawa.

Se ha tomado como base el método de las 6M y tiene como objeto agrupar las causas potenciales en 6 ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.

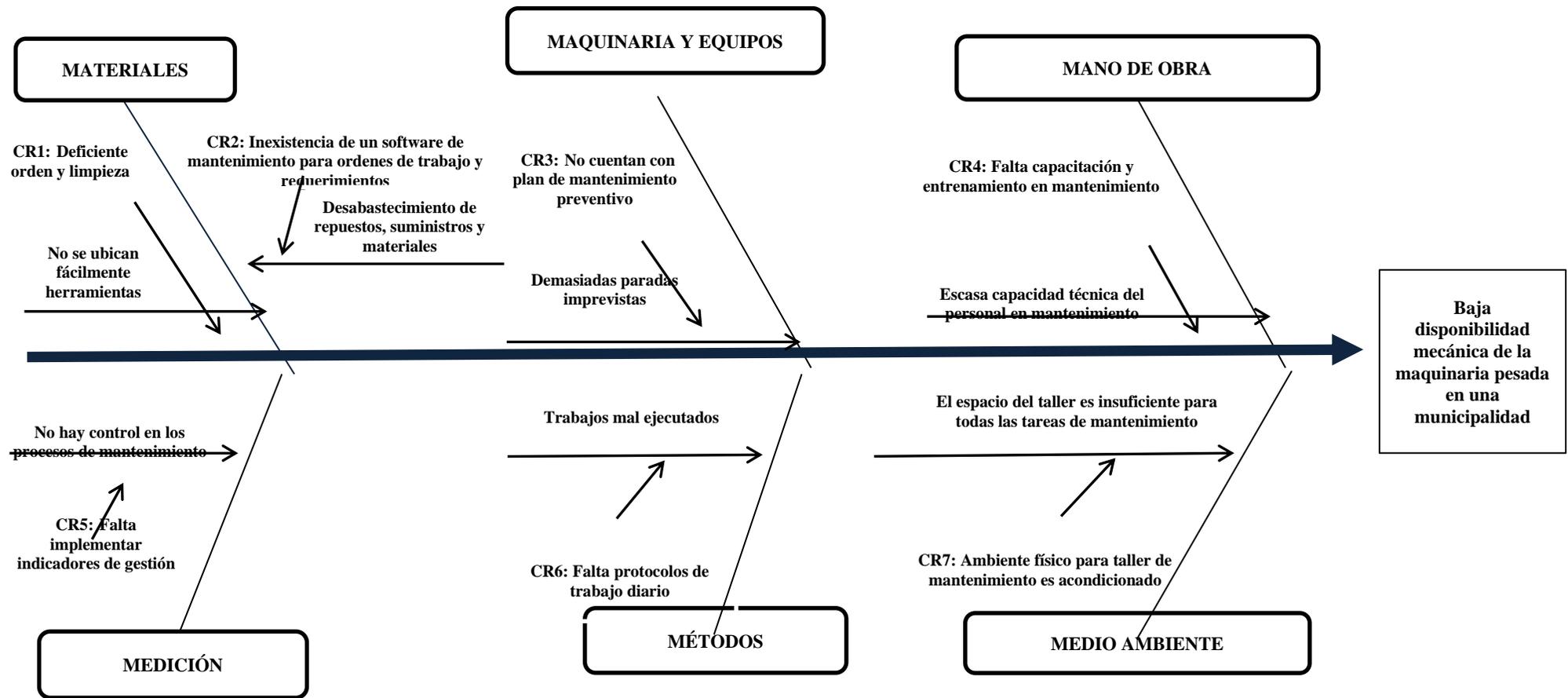


Figura 15. Diagrama Ishikawa de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Elaboración: El autor

2.3.3. Matriz de priorización de causas raíz

Luego de realizar el Diagrama de Ishikawa de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción resultan siete causas raíz, las cuales serán priorizadas de acuerdo a su impacto en la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada. Para ello se diseñó una entrevista dirigida a los funcionarios de la municipalidad con el fin de aplicar la priorización de las causas raíz con la técnica de Pareto.

Tabla 4

Matriz resultado de entrevistas

PERSONAL	CR1	CR2	CR3	CR4	CR5	CR6	CR7
Gerente de Desarrollo Urbano							
ICO +			3				
ICO +/-				2	2	2	
ICO -	1	1					1
Jefe Oficina de Obras							
ICO +	3	3	3	3	3		
ICO +/-						2	2
ICO -							
Jefe Unidad de Obras Públicas							
ICO +	3	3	3	3	3		
ICO +/-						2	2
ICO -							
Jefe Unidad de Maquinaria Pesada y Equipos							
ICO +	3	3	3	3	3		
ICO +/-						2	2
ICO -							
Total	10	10	12	11	11	8	7

Fuente: Entrevistas a funcionarios de la municipalidad

Tabla 5

Matriz de priorización aplicando Pareto

CAUSA RAÍZ	PRIORIZACIÓN	%	% ACUMULADO
CR3: No cuentan con plan de mantenimiento preventivo	12	17%	17%
CR4: Falta capacitación y entrenamiento en mantenimiento	11	16%	33%
CR5: Falta implementar indicador de gestión de equipo	11	16%	49%
CR1: Deficiente orden y limpieza	10	14%	64%
CR2: Inexistencia de un software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos	10	14%	78%
CR6: Falta protocolos de trabajo diario	8	12%	90%
CR7: Ambiente físico para taller de mantenimiento es acondicionado	7	10%	100%

Fuente: Entrevistas a funcionarios de la municipalidad

Como consecuencia de la priorización de las causas raíz con la técnica de Pareto se seleccionaron cinco causas raíz que representan el 78% de los problemas encontrados, las cuales serán objeto de la mejora en esta investigación.

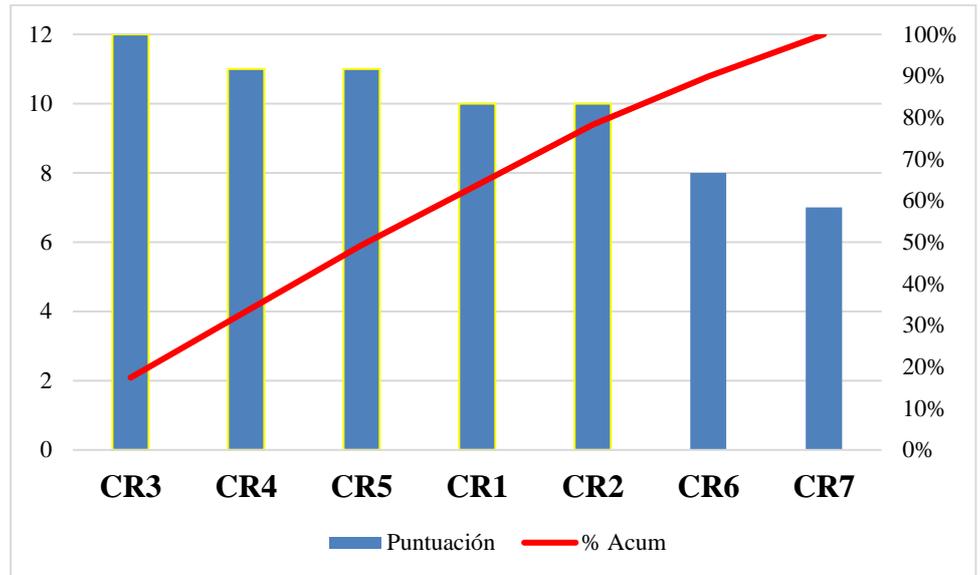


Figura 16. Diagrama de priorización

Elaboración: El autor

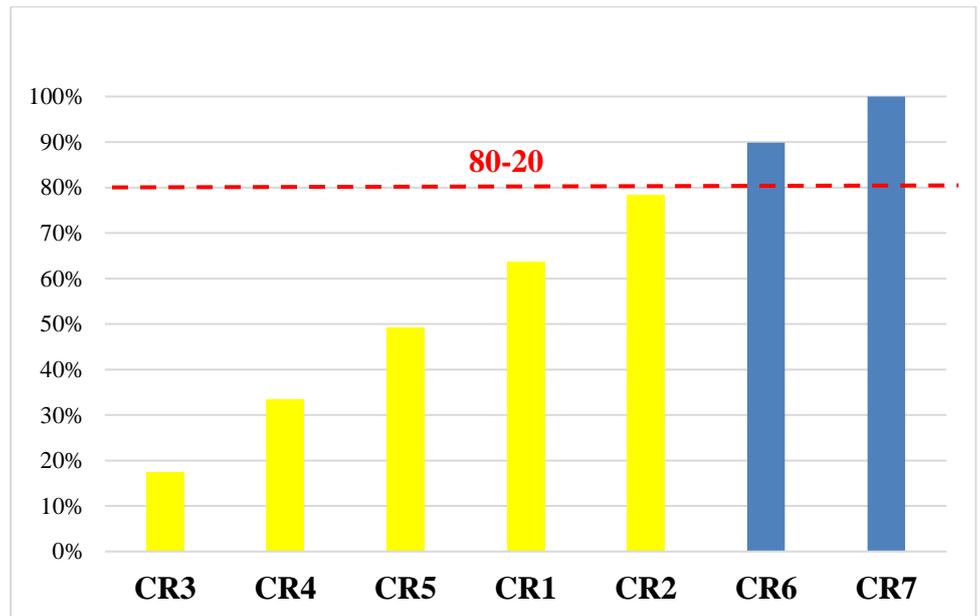


Figura 17. Diagrama de Pareto

Elaboración: El autor

Se observa en la Figura 17 de color amarillo las causas raíz que forman parte del (80-20) del problema principal que se deben mitigar para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada.

2.3.4. Descripción de causa raíces y monetización de pérdida

- **Perdida monetaria CR3: No cuentan con plan de mantenimiento preventivo, CR5: Falta implementar indicadores de gestión de equipos, CR2: Inexistencia de un software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos**

El principal inconveniente encontrado en la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción son los tiempos improductivos por indisponibilidad de la maquinaria pesada, se da muchos casos en que cuando se requiere alquilar maquinaria esta no se encuentra disponible debido a que se le realizan trabajos de mantenimiento preventivo a destiempo y no queda lista para cuando se requiere por falta de planificación de los mantenimientos preventivos. Asimismo, no se pueden medir la gestión de equipos al no tener implementado indicadores. Finalmente, en la actualidad es imperativo automatizar la información de las ordenes de trabajo y requerimientos de repuestos, suministros y materiales, para un mejor control de pedidos a través un software de mantenimiento. En la Tabla 6 se presenta el cálculo de la perdida monetaria de estas causas raíces.

Tabla 6

Cálculo de perdida monetaria de la CR3, CR5 y CR2

AÑO	MAQUINARIA	MARCA	HORAS IMPRODUC TIVAS	COSTO H/M	MONTO
2019	Cargador Frontal	Caterpillar	768	220	168,960
	Cargador Frontal	Komatsu	505	200	101,000
	Retroexcavadora	Caterpillar	484	130	62,920
	Rodillo	Hamm	360	130	46,800
	Motoniveladora	New Holland	384	190	72,960
Total			2,501		452,640.00

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

En el año 2019 se alcanzó 2,501 horas improductivas en toda la maquinaria pesada, es decir tiempo sin poder alquilar la maquinaria por indisponibilidad de la maquinaria pesada, lo cual generó pérdidas por S/ 452,640.00.

- Perdida monetaria CR4: Falta de capacitación y entrenamiento en mantenimiento

Los colaboradores de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción no cuentan con capacitación específica y no acreditan competencias. La falta de capacitación y entrenamiento ha generado un bajo rendimiento y asertividad en los diagnósticos de mantenimiento, lo cual requiere contratar servicios terceros. En la Tabla 7 se presenta el cálculo de la pérdida monetaria de esta causa raíz.

Tabla 7

Cálculo de pérdida monetaria de la CR4

AÑO	MAQUINARIA	MARCA	DIAGNOSTICOS TERCERIZADOS	GASTO POR SERVICIO	MONTO
2019	Cargador Frontal	Caterpillar	15	558	8,370
	Cargador Frontal	Komatsu	13	540	7,020
	Retroexcavadora	Caterpillar	11	540	5,940
	Rodillo	Hamm	12	360	4,320
	Motoniveladora	New Holland	14	432	6,048
Total			65		31,698

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

En el año 2019 se presentó gastos por diagnósticos tercerizado por un total de 65 servicios lo cual generó pérdidas por S/ 31,698.

- **Perdida monetaria CR1: Deficiente orden y limpieza**

Otro gran problema en la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción es el tiempo improductivo por la desorganización en el área de trabajo originado por el deficiente orden y limpieza que influye en el inicio de trabajo diario de los técnicos y operadores de la maquinaria pesada. El desorden y la falta de limpieza transforman el lugar de trabajo en un sitio peligroso y desagradable que genera condiciones inseguras. En la Tabla 8 se presenta el cálculo de la perdida monetaria de esta causa raíz.

Tabla 8

Cálculo de la perdida monetaria de la CR1

AÑO	MAQUINARIA	MARCA	HORAS IMPRODUCTIVAS	COSTO H/H	MONTO
2019	Cargador Frontal	Caterpillar	1000	6.25	6,250
	Cargador Frontal	Komatsu	875	6.25	5,468.75
	Retroexcavadora	Caterpillar	875	6.25	5,468.75
	Rodillo	Hamm	750	6.25	4,687.5
	Motoniveladora	New Holland	625	6.25	3,906.25
Total			4,125		25,781.25

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

En el año 2019 se presentó tiempo improductivo debido al desorden y la falta de limpieza por un total de 4,125 horas lo cual genero perdidas hora/hombre por S/ 25,781.25

2.3.5. Matriz de indicadores

Es importante poder establecer indicadores para poder medir el antes y después de aplicar las herramientas de mejora. En la Tabla 9 se presenta el cuadro resumen donde se detalla los indicadores asociados a la causa raíz y la propuesta de herramienta de mejora.

Tabla 9

Matriz de indicadores resultantes

N°	CAUSA RAÍZ	INDICADOR	FÓRMULA	VALOR ACTUAL %	PERDIDA ACTUAL	VALOR META %	PERDIDA MEJORADA	HERRAMIENTA DE MEJORA	BENEFICIO
CR3	No cuentan con plan de mantenimiento preventivo	% de disponibilidad mecánica	$\% DM = \frac{N^{\circ} \text{ de horas totales} - N^{\circ} \text{ de horas paradas por MP}}{N^{\circ} \text{ de horas totales}} \times 100\%$	68%		90%			
CR5	Falta implementar indicadores de gestión de equipos	% de indicador de gestión de equipos	$\% IGE = \frac{N^{\circ} \text{ de indicadores de gestión de equipos implementados}}{\text{Total de indicadores de gestión de equipos}} \times 100\%$	0%	S/ 462,720	100%	S/ 300,768	Plan de Mantenimiento Preventivo	S/ 168,960
CR2	Inexistencia de software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos	% de implementación de software de mantenimiento	$\% ISM = \frac{N^{\circ} \text{ de módulos de software de mantenimiento implementados}}{\text{Total de módulos de software de mantenimiento}} \times 100\%$	0%		85%			

CR4	Falta capacitación y entrenamiento en mantenimiento	% de colaboradores capacitados	% CC = N° de colaboradores capacitados / Total de colaboradores x 100%	0%	S/ 31,698.00	100%	S/ 3,169.80	Plan de Capacitación	S/ 28,528.20
CR1	Deficiente orden y limpieza	% de implementación 5S	% I5S = N° de etapas 5S implementadas / Total de etapas 5S x 100%	0%	S/ 25,781.25	100%	S/ 2,578.12	Plan de Implementación 5S	S/ 23,203.13

Elaboración: El autor

2.4. Solución de la propuesta

2.4.1. Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo

Se desarrolla con el propósito de evitar al máximo las paradas no programadas y conservar la maquinaria pesada en un óptimo estado de funcionamiento.

2.4.1.1. Inventario y codificación de maquinaria pesada

Se presenta en la Tabla 10 el inventario y la codificación de la maquinaria pesada de la municipalidad.

Tabla 10

Inventario y codificación de la maquinaria pesada de la municipalidad

CÓDIGO	TIPO DE MAQUINARIA	MARCA	AÑO DE FABRICACIÓN	MODELO	MOTOR	PESO	ALTURA	LARGO	ANCHO
MDP01	Cargador Frontal	Caterpillar	2001	938G	3126B	13.8 t.	3.3 m.	7.4 m.	2.7 m.
MDP02	Cargador Frontal	Komatsu	2001	WA380	SAA6D107E-1	17 t.	3.3 m.	8.2 m.	2.6 m.
MDP03	Retroexcavador	Caterpillar	2008	420E	C4.4 DIT	7.3 t.	3.5 m.	7.3 m.	2.4 m.
MDP04	Rodillo	Hamm	2008	HD 14 VV	HD14VV	4.3 t.	2.5 m.	2.8 m.	1.5 m.
MDP05	Motoniveladora	New Holland	2008	RG 140.B	F4HE9687W	15 t.	3.4 m.	8.5 m.	3.6 m.

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 11

Lista de maquinaria pesada de la municipalidad

Nº	MAQUINARIA PESADA	FUNCIONES
1	Cargador Frontal Caterpillar 938G	Son máquinas utilizadas para cargar materiales en los camiones de volteo; también son utilizados para acarrear materiales a cortas distancias, cuando están provistos de ruedas su bastidor es articulado, están equipados con un cucharón, brazos de levante y torre y un contrapeso que ayuda a soportar de mejor manera la carga.
2	Cargador Frontal Komatsu WA380	Son máquinas utilizadas para cargar materiales en los camiones de volteo; también son utilizados para acarrear materiales a cortas distancias, cuando están provistos de ruedas su bastidor es articulado, están equipados con un cucharón, brazos de levante y torre y un contrapeso que ayuda a soportar de mejor manera la carga.
3	Retroexcavador Caterpillar 420E	Es una máquina que se emplea para arranque de materiales como rocas y tierra, aperturas de zanjas para la colocación de tuberías y drenajes, con sus accesorios puede realizar cortes de aceros, romper concreto, realizar cimientos de gravilla antes de pavimentar; destroza rocas, acero y concreto.
4	Rodillo Hamm HD 14 VV	Es un equipo que se utiliza para compactar subbases o bien mezclas bituminosas en caliente tras su extendido mediante un rodillo liso vibratorio. Los rodillos se utilizan para compactar terraplenes ,amplitudes dobles, garantizan la máxima productividad en proyectos como construcción de carreteras, pistas de rodaje, estacionamientos y áreas rellenadas.
5	Motoniveladora New Holland RG 140.B	Es una máquina de movimientos de tierras, especialmente concebida, diseñada y construida para ejecutar excavaciones de precisión tales como las correspondientes al céreo y pulimiento de taludes y para extender las capas de la estructura del pavimento.

Elaboración: El autor

2.4.1.2. Priorización de la maquinaria pesada

La priorización de la maquinaria pesada nos ayuda a identificar la maquinaria más importante por cada tipo de máquina del inventario en base a un análisis de criterios. (TECSUP, 2020)

- Costo actual de la maquinaria pesada.
- Tiempo de antigüedad de la maquinaria pesada.
- Intervenciones de mantenimiento registradas.
- Exigencia en el trabajo de campo.

Para la evaluación de estos criterios en la maquinaria pesada se efectuó ponderaciones que se presentan a continuación:

A. Criterios para evaluar el costo de la maquinaria

El análisis para el costo de la maquinaria se realizó por cada tipo de maquinaria.

Tabla 12

Criterios para evaluar el costo de un Cargador Frontal

COSTO ACTUAL DE LA MÁQUINA (CM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a \$ 60,000,00	1
MEDIO. Entre \$ 60,000,00 - \$ 120,000,00	2
ALTO. Mayor a \$ 120,000,00	3

Fuente: (BAS Machinery, 2020)

Tabla 13

Crterios para evaluar el costo de un Retroexcavador

COSTO ACTUAL DE LA MÁQUINA (CM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a \$ 100,000,00	1
MEDIO. Entre \$ 100,000,00 - \$ 150,000,00	2
ALTO. Mayor a \$ 150,000,00	3

Fuente: (BAS Machinery, 2020)

Tabla 14

Crterios para evaluar el costo de un Rodillo

COSTO ACTUAL DE LA MÁQUINA (CM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a \$ 50,000,00	1
MEDIO. Entre \$ 50,000,00 - \$ 100,000,00	2
ALTO. Mayor a \$ 100,000,00	3

Fuente: (BAS Machinery, 2020)

Tabla 15

Crterios para evaluar el costo de una Motoniveladora

COSTO ACTUAL DE LA MÁQUINA (CM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a \$ 150,000,00	1
MEDIO. Entre \$ 150,000,00 - \$ 200,000,00	2
ALTO. Mayor a \$ 200,000,00	3

Fuente: (BAS Machinery, 2020)

B. Criterios para evaluar la antigüedad, registro de intervenciones y exigencias en el trabajo de campo

Esté análisis se realizó para toda la maquinaria pesada.

Tabla 16

Criterios para evaluar la antigüedad de la maquinaria

ANTIGÜEDAD DE LA MAQUINARIA (AM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a 5 años	1
MEDIO. Entre 5 – 15 años	2
ALTO. Mayor a 15 años	3

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 17

Criterios para evaluar los registros de intervenciones de mantenimiento

INTERVENCIONES DE MANTENIMIENTO (IM)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Menor a 20 registros	1
MEDIO. Entre 20 – 30 registros	2
ALTO. Mayor a 30 registros	3

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 18

Criterios para evaluar la exigencia en el trabajo de campo

EXIGENCIA EN EL TRABAJO DE CAMPO (ETC)	
CRITERIO	VALOR
BAJO. Maquinaria realiza trabajos de campo en terrenos ligeros	1

MEDIO. Maquinaria realiza trabajos de campo en terrenos poco accesibles	2
ALTO. Maquinaria realiza trabajos de campo en terrenos de difícil acceso	3

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

A continuación, en la Tabla 19 se presenta la Matriz de Priorización de la maquinaria pesada de la municipalidad, desarrollada con el apoyo del jefe de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción.

Tabla 19

Matriz de priorización de la maquinaria pesada

CÓDIGO	CRITERIO DE PRIORIZACIÓN				TOTAL
	CM	AM	IM	ETC	
MDP01	3	3	3	3	12
MDP02	2	3	2	3	10
MDP03	3	2	2	3	10
MDP04	2	2	2	2	8
MDP05	2	2	2	2	8

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Debido a que lo que nos interesó fue demostrar nuestra hipótesis que la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora a 90% la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en la municipalidad, a través de la Matriz de Priorización de la maquinaria pesada, nos permitió seleccionar al Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G por obtener la mayor puntuación.

Tabla 20

Maquinaria pesada a priorizar

CÓDIGO	TIPO DE MAQUINARIA	MARCA	MODELO	ÁREA
MDP01	Cargador Frontal	Caterpillar	938G	Oficina de Obras

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

2.4.1.3. Datos técnicos del Cargador Frontal Caterpillar 938G

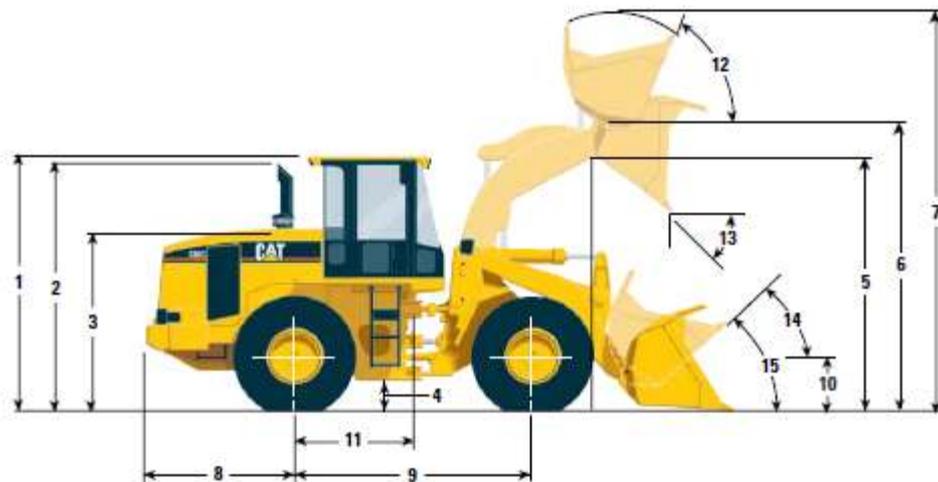
Tabla 21

Especificaciones del Cargador Frontal Caterpillar 938G

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN
Peso	13.8 t.
Ancho cuchara	2.706 m.
Capacidad de cucharón	2.3 - 3.0 m ³
Tipo de dirección	KL
Anchura transporte	2.7 m.
Velocidad	38.8 km/h
Radio de torneado exterior	5.48 m
Fabricante del motor	Caterpillar
Rendimiento del motor	160 hp
Revoluciones	2200 rpm
Peso	13,425 kg.
Potencia máxima al volante	180 hp
Neumáticos estándar	20.5 R25
Longitud transporte	7.47 m.
Altura a parte superior	3.3 m.
Altura cucharón levantado	5.2 m.

Cabina	ROPS/FOPS
Capacidad de llenado tanque de combustible	67,9 gal.

Fuente: (Caterpillar, 2003)



1	Altura a parte sup. de ROPS	3.300 mm	10'10"
2	Altura a parte sup. de tubo de escape	3.227 mm	10'7"
3	Altura a parte sup. de capó	2.359 mm	7'9"
4	Espacio libre sobre el suelo/ Neumático estándar 20.5-R25 (L-2) Ver la tabla que sigue para información sobre otros neumáticos	399 mm	1'4"
5	Espacio libre del brazo de levanta- miento a levantamiento máximo	3.435 mm	11'3"
6	Altura del pasador del cucharón a levant. máx. Altura del pasador del cucharón, alto levant. optativo	3.843 mm 4.266 mm	12'7" 14'0"
7	Altura total – cucharón levantado	5.284 mm	17'4"
8	Línea de centro del eje trasero al borde del contrapeso	1.857 mm	6'1"
9	Distancia entre ejes	3.020 mm	9'11"
10	Altura a la línea de centro del eje	688 mm	2'3"
11	Línea de centro del eje tras. al enganche	1.510 mm	4'11"
12	Inclinación hacia atrás a levantamiento máximo	65°	
13	Ángulo de descarga a levant. máx.	49°	
14	Inclin. hacia atrás durante transporte	50°	
15	Inclin. hacia atrás al nivel del suelo	44°	
16	Espacio libre de descarga a levant. máx. y ángulo de descarga de 45°	2.771 mm	9'1"

Figura 18. Dimensiones aproximadas del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

A. Motor

El motor Diésel Cat 312B ATAAC entrega una potencia neta de 119 kW (160 hp) y cumple con las normas de control de emisiones de Tier 2 de la EPA de EE.UU. El sistema avanzado mantiene el combustible a una presión baja en las tuberías de combustible hasta que se inyecte al cilindro. La presión del combustible se produce hidráulicamente, respondiendo a una señal del Módulo de Control Electrónico ADEM III™.

El sistema de combustible del Módulo Avanzado de Motores Diesel (ADM III) es un módulo de control electrónico que es propiedad de Caterpillar, y que proporciona una mejor respuesta del motor, menos consumo de combustible, diagnósticos mejorados y emisiones reducidas. La capacidad de altitud se aumenta a 3,050 metros sin reducir la potencia. ADEM III permite la completa integración electrónica del motor y de la transmisión para obtener máxima eficiencia del tren de fuerza.

La turbo compresión permite que se acumule aire denso en los cilindros para obtener una combustión más completa y menores emisiones de gas.

El posenfriamiento de aire a aire (ATAAC) proporciona un sistema de enfriamiento separado para el aire del múltiple de admisión. El sistema ATAAC reduce el humo y las emisiones proporcionando aire de admisión más frío para obtener una combustión más eficiente.

El motor electrónico del 938G tiene incorporado un ventilador de enfriamiento de operación a petición. El motor compensa las variaciones de carga del ventilador y proporciona una potencia neta constante en todas las condiciones de operación. Se dispone de un nivel constante y uniforme de potencia “de trabajo” con lo que reduce el consumo de combustible. (Caterpillar, 2003)



Figura 19. Vista exterior de motor del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

B. Tren de fuerza

La servotransmisión electrónica con capacidad de hacer cambios automáticos es una transmisión de contraeje fabricada por Caterpillar. Se controla electrónicamente y permite cambios de velocidad y de sentido de marcha a plena potencia. Los cambios de marcha totalmente modulados contribuyen a la comodidad del operador y prolongan la duración de los componentes.

El Control Electrónico de Presión de Embragues (ECPC) detecta entradas tanto de los controles del operador como de la transmisión para modular cada embrague individual a través de una válvula electrohidráulica proporcional. Esto resulta en cambios de marcha más suaves y mejor calidad de los cambios. Se dirige potencia a los embragues, resultando en mayor duración de los embragues.

El Sistema de Frenos Integrados (IBS) incorpora los cambios descendentes de marcha y la neutralización de la transmisión en el pedal del freno

izquierdo. El IBS proporciona un rendimiento suave del neutralizador con una mayor gama ajustes. Además, reduce los costos de posesión y operación, bajando la temperatura del aceite del eje, lo cual puede prolongar la vida del freno de servicio.

El control de cambios variables (VSC) reduce el consumo de combustible muchas aplicaciones. El sistema control de tracción (TCS) es un sistema totalmente automático que funciona independientemente en las cuatro ruedas y combina la maniobrabilidad de un diferencial abierto con la potencia de un diferencial de patinaje limitado. (Maquinarias pesadas, 2020)



Figura 20. Vista exterior de tren de fuerza del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

C. Cabina del operador

1. Sistema de dirección de bajo esfuerzo con dosificación manual, la columna de dirección inclinable permite adaptar el volante al operador. La dirección con detección de carga transfiere potencial al sistema de dirección sólo cuando se necesite. Cuando no se use el sistema de dirección, se dispone de más potencia del motor para generar fuerza de arrastre a las ruedas, además de fuerza de desprendimiento y de levantamiento.
2. La ventana delantera proporciona una visibilidad inigualable hacia adelante y a los lados, incluyendo las ruedas de las máquinas y las esquinas del cucharón. El parabrisas tiene vidrio impregnado que elimina obstrucción del marco. El capo inclinado permite excelente visibilidad hacia la parte trasera de la máquina.
3. Los controles hidráulicos piloto del implemento reducen el esfuerzo necesario para operarlo y aumentan la comodidad del operador. La palanca universal y el interruptor de avance-neutral-retroceso en la palanca están disponibles como accesorios.
4. Los medidores, indicadores de estado e indicadores de advertencia están ubicadas ahora en el centro. Un sistema alerta al operador de problemas inmediatos o potenciales, tales como de presión del aceite de motor, freno de estacionamiento, presión de combustible, sistema eléctrico, presión del aceite de los frenos, temperatura del aceite del aceite hidráulico, derivación del filtro de transmisión temperatura del múltiple de admisión del motor, presión del aceite de la dirección primaria y calentador de la admisión de aire. Indicadores de advertencia LED que eliminan la necesidad de reemplazar luces.
5. Las puertas izquierda y derecha se abren 180° y se pueden trabar en posición abierta para obtener optima ventilación, visibilidad y comunicación con personal en el suelo. Se dispone, como accesorio de ventanas corredizas para el lado derecho y el lado izquierdo.
6. Todos los pedales, incluyendo el nuevo regulador electrónico, están montados en el piso para aumentar la comodidad del operador. El pedal izquierdo incorpora el nuevo sistema de frenado integral, que

combina las funciones del freno de servicio, del neutralizador de la transmisión y de los cambios descendentes.

7. Compartimiento para fiambra, termos y tazas.
8. El asiento Caterpillar Contour, con suspensión neumática (accesorio), aumenta la comodidad del operador, con ajuste en 6 sentidos y soporte lumbar del tipo que se encuentra en automóviles.
9. El control electrónico de cambios automáticos, puede ajustar para permitir cambios manuales o a una de dos modalidades de cambios completamente automáticos.
10. El interruptor del sistema de control de amortiguación, reduce la inclinación hacia delante y hacia atrás, para un andar más suave y más cómodo.
11. El interruptor de traba del neutralizador de la transmisión, regresa automáticamente a neutralizador activado al arrancar el motor.
12. Control de cambios variables, permite al operador seleccionar una de las tres configuraciones de cambios diferentes según la aplicación y las preferencias de trabajo. Modalidades normal, de economía y agresiva. Reduce los niveles de ruido y el consumo de combustible a la vez que proporciona cambios de marcha más suaves.
13. Convertidor de 12 voltios, altavoces, antena, cableado y soportes para instalaciones de radio de entretenimiento. (Caterpillar, 2003)



Figura 21. Vista interior de la cabina del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

D. Cucharones y herramientas de corte

1. Cucharones de uso general, trabajan con una amplia gama de aplicaciones incluyendo la excavación, el apilado y la explanación. Cucharón con costillas de refuerzos exteriores probado en la obra. Los cucharones de uso general pueden equiparse con dientes empernables o cuchillas empernables estándar de Caterpillar. Se ofrecen cuatro tamaños de cucharones básicos. Los cucharones son reconstruibles.
2. Cucharones para manejo de materiales, de perfil óptimo y piso plano para material de flujo libre. Se ofrecen dos tamaños de cucharones básicos. Utilizan cuchillas empernables del sistema guardaesquinas.
3. Cucharones con acoplador rápido, perfil de uso general, compatible con el acoplador rápido fijado con pasador horizontal, instalado en fábrica. Vienen en tres tamaños.
4. Cucharones especiales, se ofrecen cucharones diseñados para desechos, para carbón y de uso múltiple para usar en aplicaciones industriales específicas.

5. Cuchilla empernable, reversible para óptima resistencia y larga duración. Se dispone como equipo estándar la cuchilla de servicio pesado o la cuchilla de material resistente a la abrasión. Los protectores de esquina completan el sistema.
6. Dientes empernables, adaptador de esquina con dos pernos está sujeto firmemente para evitar su desplazamiento. Adaptadores centrales empernables de dos planchas. Se ofrecen siete puntas diferentes que se pueden usar con el sistema de retención del servicio pesado.
7. Los segmentos reversibles estándar protegen la cuchilla base entre los dientes y eliminan el festoneado. Se ofrecen también segmentos reversibles de servicio pesado.
8. Las planchas de desgaste traseras reemplazables protegen la parte inferior del cucharón. (Caterpillar, 2003)



Figura 22. Vista exterior de cucharón del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

E. Acopladores rápidos y herramientas

1. Acopladores rápidos, proporcionan máxima versatilidad y permiten que una sola máquina realice una gran variedad de tareas. Instalados en fábrica con tuberías hidráulicas de acero y un recorrido despejado de aceite por los brazos de levantamiento. Activación eléctrica desde dentro de la cabina, con interruptor de traba de seguridad. Diseño de sujeción con pasador horizontal.
2. Cucharones para carbón, piso plano para aplicaciones de apilado. Los cucharones para carbón tienen cuchillas empernables.
3. Cucharones para viruta de madera, han sido diseñados específicamente para cargar viruta de madera y otros materiales ligeros. Piso plano. Las cuchillas empernables son estándar, Las rejillas mejoran la visibilidad durante la carga.
4. Cucharones de descarga lateral, permiten operar los cargadores en sitios de poco espacio y pueden descargarse hacia adelante como un cucharón convencional (se requiere una tercera válvula)
5. Horquillas para paletas, son herramientas ideales para tareas de manejo de materiales. Se ofrecen con una variedad de longitud de dientes.
6. Horquillas para tronco con garfio superior, para troncos del largo total del árbol o cortados a largos específicos. También se ofrecen horquillas madereras y para troncos.
7. Brazo de manejo de materiales, con longitudes y capacidades de carga ajustables, que puede funcionar con una grúa en la zona de trabajo. Arados hidráulicos reversibles que se pueden colocar en ángulo de 30° hacia la izquierda o hacia la derecha. Este tipo de movimiento resulta ideal para aplicaciones de limpieza en caminos de montaña, aeropuertos, playas de estacionamiento, fabricas, etc. (Caterpillar, 2003)

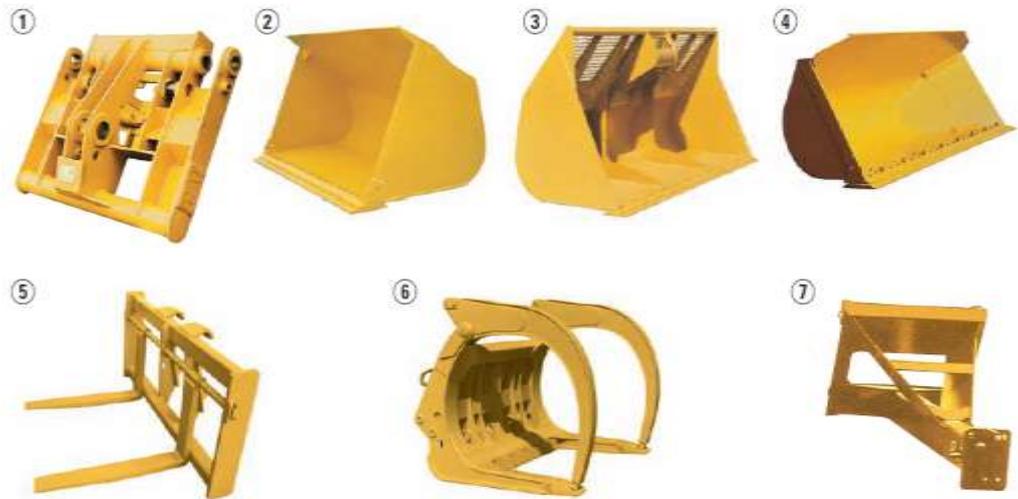


Figura 23. Vista exterior de acopladores del CAT 938G

Fuente: (Caterpillar, 2003)

2.4.1.4. Identificación de sistemas del Cargador Frontal Caterpillar 938G

La identificación de los sistemas y subsistemas del Cargador Frontal Caterpillar 938G se obtuvo con la ayuda de manuales técnicos de operación y entrevista con especialistas en maquinaria pesada.

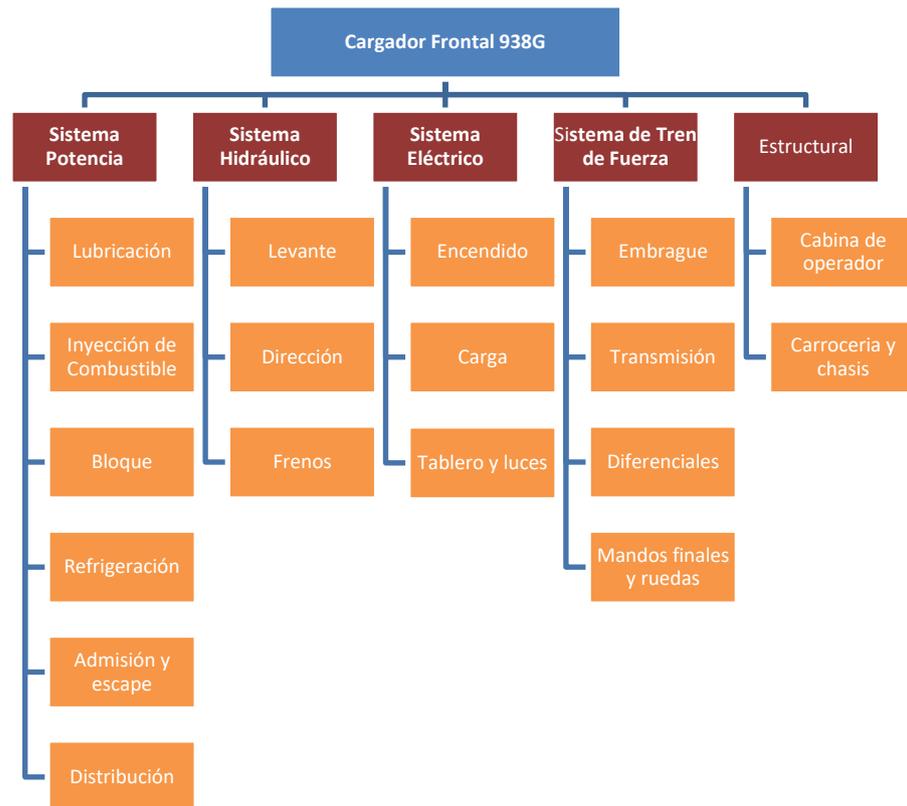


Figura 24. Diagrama de sistemas y subsistemas

Elaboración: El autor

2.4.1.5. Determinación de los modos de falla del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Determinaremos los modos de fallas para diseñar un plan de mantenimiento preventivo con eficiencia y eficacia. Para determinar los modos de fallas realizaremos un análisis de criticidad, selección de los modos de falla, análisis modal de fallos y efectos.

A. Análisis de criticidad

Para la evaluación de criticidad se tomó en cuenta cinco parámetros de evaluación. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

- Frecuencia de Fallas (FF)
- Impacto Operacional (IO)
- Flexibilidad Operacional (FO)

- Costo de Mantenimiento (CM)
- Impacto de Seguridad Ambiental y Humana (SAH)

La valorización de los criterios de este análisis de criticidad para esta maquinaria pesada se adaptó a nuestra realidad, dando como resultado:

Tabla 22

Criterios para evaluar la Frecuencia de Fallas

FRECUENCIA DE FALLAS	VALOR FF
Mayor a 4 Fallas/año	4
2-4 Fallas/año	3
1-2 Fallas/año	2
Mínimo 1 Falla/año	1

Elaboración: El autor

Tabla 23

Criterios para evaluar el Impacto Operacional

IMPACTO OPERACIONAL	VALOR IO
Para total inmediata de la maquinaria	10
Parada parcial de la maquinaria	7
Impacto a niveles de operación	4
No genera ningún efecto significativo sobre las demás actividades	1

Elaboración: El autor

Tabla 24

Crterios para evaluar la Flexibilidad Operacional

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	VALOR FO
No existe otra maquinaria o equipo que la reemplace	4
Existe opción de repuesto compartido	2
Existe opción de repuesto disponible	1

Elaboración: El autor

Tabla 25

Crterios para evaluar el Costo de Mantenimiento

COSTO DE MANTENIMIENTO	VALOR CM
Mayor a U\$ 1000	10
Entre U\$ 301 - U\$ 1000	7
Entre U\$ 50 - U\$ 300	4
Menor a U\$ 50	1

Elaboración: El autor

Tabla 26

Crterios para evaluar el Impacto de Seguridad Ambiental y Humana

IMPACTO DE SEGURIDAD AMBIENTAL Y HUMANA	VALOR SAH
Afecta la seguridad humana	10
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	8
Afecta a las instalaciones causando daños severos	6
Provoca daños menores (accidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no es considerable	1
No provoca ningún daño a las personas o al ambiente	0

Elaboración: El autor

FRECUENCIA DE FALLAS	4	SC	C	C	MC	MC
	3	SC	SC	C	MC	MC
	2	NC	NC	SC	C	C
	1	NC	NC	SC	SC	C
		1-12	13-24	25-36	37-48	49-68
IMPACTO						

MC	MUY CRÍTICO
SC	SEMI CRÍTICO
C	CRÍTICO
NC	NO CRÍTICO

Figura 25. Matriz de criticidad

Elaboración: El autor

Ecuación 1

Cálculo de Consecuencia

$$\text{Consecuencia} = IO * FO + CM + SAH$$

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013)

Ecuación 2

Cálculo de Criticidad

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} * \text{Consecuencia}$$

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013)

El análisis de criticidad de los sistemas fue desarrollado con el apoyo de manuales técnicos y especialistas en maquinaria pesada.

Tabla 27

Análisis de criticidad del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

SISTEMA:		HIDRÁULICO					CÁLCULO DE CRITICIDAD		NIVEL DE CRITICIDAD
SUB SISTEMA	COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	FF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
LEVANTE	Bomba hidráulica	10	4	7	1	1	48	48	SC
	Aceite hidráulico	7	1	1	2	3	10	30	C
	Depósito	4	2	1	1	2	10	20	NC
	Filtros hidráulicos	7	2	1	2	3	17	51	MC
	Mangueras	7	1	7	8	1	22	22	NC
	Tuberías	7	2	1	2	1	17	17	NC
	Acumuladores de presión	7	1	4	2	2	13	26	SC
	Válvula piloto	10	4	4	1	1	45	45	SC
	Válvula limitadora de presión	7	2	4	2	1	20	20	NC
	Válvula central	10	4	4	2	1	46	46	SC
Sellos hidráulicos	7	1	7	2	1	16	16	NC	

	Cilindros de elevación	4	2	4	2	2	14	28	SC
	Cilindro de volteo	4	2	4	2	2	14	28	SC
	Enfriador de aceite hidráulico	4	2	7	1	2	16	32	SC
DIRECCIÓN	Bomba de dirección	7	4	7	2	1	37	37	SC
	Acumulador de presión	4	2	4	2	1	14	14	NC
	Válvula de dirección	4	1	4	1	1	9	9	NC
	Válvula conmutadora de control	4	4	4	1	1	21	21	NC
	Cilindros de dirección	7	4	4	2	2	34	68	SC
	Mando de dirección	7	4	4	10	1	42	42	SC
		Bomba de freno	7	4	7	10	1	45	45
FRENO	Válvula de freno	4	4	4	1	1	21	21	NC
	Acumulador de presión	4	2	4	2	2	14	28	SC
	Freno de servicio	7	4	7	2	1	37	37	SC
	Freno de mano	4	2	4	1	2	13	26	SC

Mando del freno	7	4	4	10	1	42	42	SC
-----------------	---	---	---	----	---	----	----	----

Elaboración: El autor

Tabla 28

Análisis de criticidad del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

SISTEMA:		POTENCIA					CÁLCULO DE CRITICIDAD		NIVEL DE CRITICIDAD
SUB SISTEMA	COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	FF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
ADMISIÓN Y ESCAPE	Filtros de aire	4	1	4	2	3	10	30	C
	Turbocompresor	10	4	7	1	1	48	48	SC
	Intercooler	7	2	4	1	1	19	19	NC
	Ductos	7	2	4	1	1	19	19	NC
	Tubo de escape	4	1	4	10	1	18	18	NC
REFRIGERACIÓN	Bomba de agua	10	2	4	1	1	25	25	SC
	Ventilador	4	2	1	2	1	11	11	NC

	Termostato	4	1	4	2	1	10	10	NC
	Radiador	7	4	4	2	1	34	34	SC
	Depósito de refrigerante	4	2	1	1	1	10	10	NC
	Tapa de radiador	7	1	1	2	1	10	10	NC
	Cámaras/Cañerías	10	2	1	2	1	23	23	NC
	Agua/Refrigerante	7	1	4	2	2	13	26	SC
LUBRICACIÓN	Bomba de aceite	10	2	7	8	1	35	35	SC
	Aceite del motor	7	1	4	8	3	19	57	MC
	Carter	7	4	1	2	1	31	31	SC
	Filtros de aceite	7	1	4	1	3	12	36	C
	Enfriador de aceite lubricante	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Válvula limitadora de presión	7	1	1	2	1	10	10	NC
INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	Bomba de inyección	7	4	10	2	1	40	40	SC
	Bomba de cebado	10	4	7	1	1	48	48	SC

	Riel de inyección	10	4	4	1	1	45	45	SC
	Filtros de inyección	7	1	4	1	3	12	36	MC
	Tanque de combustible	4	2	1	1	1	10	10	NC
	Inyectores	7	1	7	2	2	16	32	SC
	Filtro separador de agua	4	1	4	2	3	10	30	C
DISTRIBUCIÓN	Árbol de levas	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Balancines	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Taques	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Muelles	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Válvulas	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Piñones de distribución	10	4	7	1	1	48	48	SC
	Block de motor	10	4	4	1	1	45	45	SC
BLOQUE	Camisas	7	4	7	0	1	35	35	SC
	Pistón de bloque	7	4	7	2	1	37	37	SC

Anillo de pistón	7	4	7	2	1	37	37	SC
Biela	10	4	7	1	1	48	48	SC
Volante de inercia	10	4	7	1	1	48	48	SC
Culata	7	4	7	1	1	36	36	SC
Junta de culata	7	4	4	1	1	33	33	SC
Cigüeñal	10	4	7	1	1	48	48	SC
Cojinetes de muñones	4	4	10	1	1	27	27	SC
Empaques	4	4	7	2	1	25	25	SC
Polea de cigüeñal	4	4	7	2	1	25	25	SC
Correa	4	2	4	2	2	14	28	SC

Elaboración: El autor

Tabla 29

Análisis de criticidad del sistema tren de fuerza del Cargador Frontal Caterpillar 938G

SISTEMA:		TREN DE FUERZA					CÁLCULO DE CRITICIDAD		NIVEL DE CRITICIDAD
SUB SISTEMA	COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	FF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
TRANSMISIÓN	Convertidor del par	10	4	4	1	1	45	45	SC
	Servo transmisión	4	4	4	1	1	21	21	NC
	Caja de transferencia	4	4	4	1	1	21	21	NC
	Ejes cardanes	10	2	1	1	1	22	22	NC
	Diferenciales	7	2	4	1	2	19	38	C
	Mandos finales	7	4	4	1	2	33	66	C
	Ruedas motrices	7	1	7	1	2	15	30	SC
	Aceite de transmisión	7	1	4	1	3	12	36	C
	Filtros de transmisión	4	1	4	1	3	9	27	C

Elaboración: El autor

Tabla 30

Análisis de criticidad del sistema eléctrico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

SISTEMA:		ELÉCTRICO					CÁLCULO DE CRITICIDAD			NIVEL DE CRITICIDAD
SUB SISTEMA	COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	FF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD		
GENERAL	Batería	4	1	7	2	2	13	26	SC	
	Motor de arranque	7	2	7	1	2	22	44	C	
	Alternador	10	1	4	1	2	15	30	SC	
	Fusibles	4	1	1	2	1	7	7	NC	
	Relays	4	1	4	2	1	10	10	NC	
	Interruptores	4	1	1	2	1	7	7	NC	
	Luces	4	1	1	4	2	9	18	NC	
	Instrumentos	4	1	1	10	1	15	15	NC	
	Alarma de retroceso	4	1	1	10	2	15	30	SC	

Bocina	4	1	1	10	2	15	30	SC
Accesorios	4	1	1	10	1	15	15	NC
Cableado eléctrico	7	1	4	2	1	13	13	NC
Módulos de control electrónico	10	1	4	1	1	15	15	NC
Sensores	10	1	7	2	1	19	19	NC
Electro válvulas	7	1	4	2	1	13	13	NC

Elaboración: El autor

Tabla 31

Análisis de criticidad del sistema estructural del Cargador Frontal Caterpillar 938G

SISTEMA:		ESTRUCTURAL					CÁLCULO DE CRITICIDAD		NIVEL DE CRITICIDAD
SUB SISTEMA	COMPONENTE	IO	FO	CM	SAH	FF	CONSECUENCIA	CRITICIDAD	
GENERAL	Bastidor trasero	4	4	1	2	1	19	19	NC
	Bastidor delantero	4	4	1	2	1	19	19	NC
	Articulación	4	4	1	2	1	19	19	NC
	Varillaje de cucharón	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Varillaje del aguilón	7	4	4	1	1	33	33	SC
	Cucharón	4	4	7	1	1	24	24	NC
	Herramientas de corte	4	1	4	1	3	9	27	C
	Puntos de engrase	4	4	4	1	1	21	21	NC
	Cabina	4	4	4	2	1	22	22	NC

Elaboración: El autor

Con el análisis de criticidad se pudo evidenciar que existen componentes del Cargador Frontal Caterpillar 938G que se encuentran en un estado Crítico (C) y Muy Crítico (MC).

B. Lista de los modos de fallas

Para los modos de fallas del Cargador Frontal Caterpillar 938G se analizó la causa de las fallas funcionales de los componentes con criticidad \geq Semi Críticos (SC).

Tabla 32

Modo de fallas del subsistema levante del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

N°	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba hidráulica	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica	Pérdida de presión	Bomba presenta desgaste, cavitación y aeración
2	Aceite hidráulico	Transmite la potencia que se genera en el motor mediante la bomba	Degradación y pérdida de propiedades	Contaminación del aceite
3	Filtros hidráulicos	Retiene las partículas contaminantes que pueden dañar los componentes del sistema	Contaminación del aceite y desgaste de componentes	Desgaste del filtro
4	Acumuladores de presión	Compensa las variaciones de flujo, mantiene una presión constante. Proporciona presión y flujo de emergencia	Dificultad para operar los elementos	Acumulador defectuoso

5	Válvula piloto	Permite que una pequeña fuerza haga funcionar a los cilindros hidráulicos	Pérdida total del funcionamiento hidráulico	Válvula atascada
6	Válvula central	Abre y cierra el paso del fluido para permitir accionar y controlar los actuadores del sistema hidráulico	Dificultad para operar los elementos	Válvula defectuosa
7	Cilindros de elevación	Transforma energía hidráulica en energía mecánica para proporcionar la elevación del cucharón	Consumo de aceite, vibración y deformación del cilindro	Fuga de aceite y juego excesivo
8	Cilindro de volteo	Transforma la energía hidráulica en energía mecánica para el volteo de cucharón	Consumo de aceite, vibración y deformación del cilindro	Fuga de aceite y juego excesivo
9	Enfriador de aceite hidráulico	Mantiene la temperatura del aceite hidráulico dentro de los límites adecuados	Degradación del aceite	Recalentamiento del aceite hidráulico

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 33

Modo de fallas del sub sistema dirección del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

N°	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba de dirección	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica para el funcionamiento de la dirección de la máquina	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba con desgaste, cavitación y aeración
2	Cilindros de dirección	Proporcionan la fuerza para direccionar las ruedas delanteras	Pérdida de velocidad y potencia	Fuga de aceite y juego excesivo
3	Mando de dirección	Permite controlar el funcionamiento de las válvulas que controlan los actuadores	Dificultad para maniobrar la máquina	Desgaste del mando

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 34

Modo de fallas del sub sistema freno del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba de freno	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica para el funcionamiento del freno de la máquina	El pedal del freno se va al fondo	Baja presión hidráulica
2	Acumulador de presión	Compensan las variaciones de flujo y mantiene una presión constante	Dificultad para operar los elementos	Acumulador defectuoso
3	Freno de servicio	Mecanismo de frenado de la máquina que se aplica por presión de aceite	La máquina tarda en detenerse	Freno defectuoso
4	Freno de mano	Bloquea el movimiento de la maquinaria cuando se estaciona	La máquina resbala cuando se estaciona	Freno de mano defectuoso
5	Mando del freno	Permite controlar el funcionamiento de las válvulas que controlan los actuadores	Pedal del freno duro	Pérdida de eficiencia en el frenado

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 35

Modo de fallas del sub sistema admisión y escape del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Filtros de aire	Recoge los contaminantes e impide la entrada de polvo al motor	Contaminación por partículas de polvo en el sistema de admisión	Filtro desgastado
2	Turbocompresor	Utiliza los gases de combustión para comprimir el aire de admisión	Pérdida de potencia y ruido anormal	Desgaste de componentes y rotura

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 36

Modo de fallas del sub sistema refrigeración del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba de agua	Impulsa el líquido refrigerante por el sistema	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de agua presenta desgaste, cavitación y aeración
2	Radiador	Transfiere el calor del líquido refrigerante al medio ambiente	Aumento de la temperatura del motor y baja presión del sistema	Taponamiento del radiador o fuga del refrigerante
3	Agua/Refrigerante	Recolecta el calor producido por el motor para mantenerlo a temperaturas adecuadas para su funcionamiento	Pérdida de propiedades	Deterioro

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 37

Modo de fallas del sub sistema lubricación del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba de aceite	Encargada de poner en circulación el aceite y hacer que en todo el circuito del motor se mantenga una presión y un caudal adecuado	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de aceite presenta desgaste, cavitación y aeración
2	Aceite del motor	Lubrica los componentes	Daños en la bomba y componentes	Recalentamiento y contaminación
3	Carter	Contiene el aceite necesario para la lubricación del motor	Pérdida de aceite en el sistema	Fuga de aceite
4	Filtros de aceite	Retiene las impurezas que están en suspensión en el aceite	Contaminación del aceite y desgaste de componentes	Desgaste de filtros
5	Enfriador de aceite lubricante	Proporciona la temperatura adecuada del aceite lubricante	Degradación del aceite	Recalentamiento de aceite

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 38

Modo de fallas del sub sistema inyección de combustible del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Bomba de inyección	Suministra la presión y el combustible necesario a los inyectores	Cuesta trabajo arrancar a la máquina o no arranca	Aireación en la bomba
2	Bomba de cebado	Succiona el combustible y lo lleva a la bomba de inyección	Perdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de cebado presenta desgaste, cavitación y aeración
3	Riel de inyección	Acumula presión antes de pasar a la cámara de combustión	Pérdida de potencia, motor tarda en encender o no enciende	Baja presión
4	Filtros de inyección	Retiene las impurezas que están en suspensión en el combustible	Contaminación del combustible y desgaste de componentes	Desgaste de los filtros
5	Inyectores	Pulveriza el combustible y lo esparce de forma homogénea en la cámara de combustión	Pérdida de potencia, motor tarda en encender o no enciende	Taponamiento de inyectores
6	Filtro separador de agua	Separa el agua que se encuentra emulsionada con el combustible	Mezcla deficiente	Desgaste de separador

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 39

Modo de fallas del sub sistema distribución del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Árbol de levas	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape	Descalibración de las válvulas	Desgaste del árbol de levas
2	Balancines	Transformar el movimiento lineal del empujador	Descalibración de las válvulas	Desgaste de balancines
3	Taques	Transforma el movimiento giratorio de la leva en movimiento rectilíneo provocando la apertura de la válvula	Descalibración de las válvulas	Desgaste de taques
4	Muelles	Brindar el movimiento de cierre de las válvulas siempre y cuando las levas no las abran	Pérdida de sus propiedades mecánicas	Desgaste de muelles
5	Válvulas	Controlar la admisión y escape de los gases	Combustión incompleta	Desgaste y agrietamiento de válvulas
6	Piñones de distribución	Transmiten el movimiento hacia el árbol de levas, la bomba de inyección, bomba de aceite y agua	Reduce la presión del engranaje produciendo deslizamientos	Desgaste de piñones

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 40

Modo de fallas del sub sistema bloque del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Block de motor	Alojar al cigüeñal, las bielas y a los pistones	Daños en los componentes que aloja	Desgaste o fisura del block
2	Camisas	Resistir el empuje lateral del pistón por lo que se convierte en la guía del pistón alternativo	Ralladuras de la pared del pistón, anillos y cilindro	Desgaste de camisas
3	Pistón de bloque	Dirigir la fuerza generada por la combustión de la mezcla a la biela	Perdida del movimiento normal	Desgaste o rotura del pistón
4	Anillo de pistón	Actuar como sellos en movimientos que mantienen la presión de combustión y proveen control de aceite en el cilindro, quitar el exceso de lubricante en la pared de cilindro, controlar la lubricación del cilindro	Fugas y consumo de aceite lubricante	Desgaste del anillo
5	Biela	Transmitir el movimiento del pistón al cigüeñal	Pérdida de la transmisión de movimiento y daños a las piezas cercanas	Roturas o deformaciones de la biela
6	Volante de inercia	Regularizar el funcionamiento del motor almacenando energía durante la combustión y cediendo en tiempos pasivos	Vibración excesiva	Desgaste o rotura de volante
7	Culata	Formar una cámara sobre el bloque donde se desarrollará el ciclo de trabajo	Daños en los componentes que aloja	Desgaste de culata

8	Junta de culata	Mantener la estanqueidad entre el bloque y la culata evitando que los gases de combustión entren en las cámaras de refrigeración	Filtraciones y fugas del refrigerante y aceite lubricante	Desgaste de junta de culata
9	Cigüeñal	Convertir el movimiento lineal del pistón en movimiento giratorio para transmitirlo posteriormente al sistema de transmisión	Golpeteo y vibraciones	Desgaste o rotura por fatiga de cigüeñal
10	Cojinetes de muñones	Evitan el desgaste por rozamiento en los lugares de giro y articulación	Rayaduras y deformaciones de las superficies	Desgaste de cojinetes de muñones
11	Empaques	Actúan como sellos para evitar fugas de aceite	Filtraciones y fugas del refrigerante y aceite lubricante	Desgaste de empaques
12	Polea de cigüeñal	Amortigua las vibraciones y oscilaciones de giro. Absorbe las tensiones producidas por la correa del cigüeñal, impulsa el ventilador o alternador	Vibración excesiva y rotura del cigüeñal	Defecto de polea
13	Correa	Transmite el movimiento producido por el cigüeñal	Pérdida de la transmisión	Desgaste de correa

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 41

Modo de fallas del sub sistema transmisión del sistema tren de fuerza del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Convertidor del par	Transfiere la fuerza y energía del motor hacia la transmisión	Alto consumo de combustible, pérdida de potencia	Elementos internos se traban
2	Diferenciales	Compensan la diferencia de velocidad de giro de las ruedas	Ruido anormal	Desplazamiento defectuoso
3	Mandos finales	Desarrollan potencia en las ruedas a la vez que mantienen bajas cargas de torsión en los ejes y la transmisión	Ruido anormal	Desplazamiento defectuoso
4	Ruedas motrices	Permite el desplazamiento uniforme de la máquina	Disminución de la tracción	Desgaste de ruedas
5	Aceite de transmisión	Lubrica los componentes del sistema de transmisión	Daños en la bomba y componentes	Recalentamiento y contaminación
6	Filtros de transmisión	Retienen las partículas de impurezas suspendidas en el aceite	Contaminación de aceite y desgaste de componentes	Desgaste de filtros

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 42

Modo de fallas del sistema eléctrico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Batería	Almacena la energía necesaria para el arranque de motor	La batería ya no almacena energía	Batería defectuosa
2	Motor de arranque	Proporciona las RPM necesarias para el arranque del motor	Dificultad en el arranque del motor, ruidos , humo y olores al arrancar	Cortocircuito
3	Alternador	Transforma la energía mecánica en energía eléctrica	La batería no carga de manera óptima	Desgaste del alternador
4	Alarma de retroceso	Alarma que suena cada vez que la máquina retrocede	No emite sonido	Sobrecarga eléctrica
5	Bocina	Alerta al personal en el terreno del avance de la máquina	No emite sonido	Sobrecarga eléctrica

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 43

Modo de fallas del sistema estructural del Cargador Frontal Caterpillar 938G

N°	COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA
1	Varillaje del Cucharón	Permite el movimiento de inclinación de la pala	Trabajo deficiente	Fisura del varillaje
2	Varillaje del aguilón	Permite el movimiento de levante de la pala	Trabajo deficiente	Fisura del varillaje
3	Herramientas de corte	Ayudan a la penetración y desgarre al cucharón en el terreno de operación	Sobre esfuerzo de la máquina	Desgaste

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

C. Análisis modal de fallos y efectos

Para el análisis modal de fallos y efectos del Cargador Frontal Caterpillar 938G se tomaron en cuenta cuatro parámetros de evaluación. (Napoles Villa, Silva Ricardo, & Marreros Fornaris, 2016)

- Severidad (S)
- Probabilidad de ocurrencia (O)
- Probabilidad de no detección (D)
- Número de prioridad de riesgo (NPR)

Ecuación 3

Cálculo de NPR

$$NPR = S * O * D$$

Fuente: (Napoles Villa, Silva Ricardo, & Marreros Fornaris, 2016)

A continuación, se presentan las tablas de los criterios a considerar:

Tabla 44

Criterios para evaluar la Severidad (S)

SEVERIDAD (S)	
CRITERIO	VALOR
Ínfima. El efecto será imperceptible por el operador	1
Baja. El operador puede notar la falla, lo que produce un leve retraso en las actividades	4
Moderada. El fallo produce un paro parcial de la maquinaria, provocando un retraso en las actividades	7
Elevada. El fallo implica problemas de seguridad, parada total de la maquinaria y de las actividades	10

Elaboración: El autor

Tabla 45

Crterios para evaluar la probabilidad de Ocurrencia (O)

OCURRENCIA (O)	
CRITERIO	VALOR
Ínfima. Defecto inexistente en el pasado	1
Baja. Muy pocos fallos similares en el pasado	4
Moderada. En circunstancias similares anteriores al fallo se ha presentado con cierta frecuencia	7
Elevada. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	10

Elaboración: El autor

Tabla 46

Crterios para evaluar la probabilidad de no Detección (D)

DETECCIÓN (D)	
CRITERIO	VALOR
Ínfima. El efecto es obvio, resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Baja. El defecto aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a un control primario pero sería posteriormente detectado	4
Moderada. Defecto de difícil detección con cierta frecuencia interrumpen el funcionamiento de la maquinaria	7
Elevada. El defecto es de naturaleza tal que su detección relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control	10

Elaboración: El autor

Para el análisis modal de fallos y efectos del Cargador Frontal Caterpillar 938G se analizó los componentes con criticidad \geq Semi Críticos (SC).

Tabla 47***Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema levante del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G***

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba hidráulica	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica	Pérdida de presión	Bomba presenta desgaste, cavitación y aeración	Caudal insuficiente - desgaste abrasivo - adaptadores o tubería de succión floja	7	4	4	112
Aceite hidráulico	Transmite la potencia que se genera en el motor mediante la bomba	Degradación y pérdida de propiedades	Contaminación del aceite	Cambio de filtro inadecuado - partículas de desgaste	7	10	4	280
Filtros hidráulicos	Retiene las partículas contaminantes que pueden dañar los componentes del sistema	Contaminación del aceite y desgaste de componentes	Desgaste del filtro	Cambio de filtro de forma tardía y mala manipulación	7	10	4	280
Acumuladores de presión	Compensa las variaciones de flujo, mantiene una presión constante. Proporciona presión y flujo de emergencia	Dificultad para operar los elementos	Acumulador defectuoso	Resortes rotos o débiles - demasiada carga o presión	7	4	7	196
Válvula piloto	Permite que una pequeña fuerza haga funcionar a los cilindros hidráulicos	Pérdida total del funcionamiento hidráulico	Válvula atascada	Partículas de suciedad contenidas en el aceite	10	1	10	100

Válvula central	Abre y cierra el paso del fluido para permitir accionar y controlar los actuadores del sistema hidráulico	Dificultad para operar los elementos	Válvula defectuosa	Resortes rotos o débiles - demasiada carga o presión	10	1	10	100
Cilindros de elevación	Transforma energía hidráulica en energía mecánica para proporcionar la elevación del cucharón	Consumo de aceite, vibración y deformación del cilindro	Fuga de aceite y juego excesivo	Fisuras en los elementos - desgaste de sellos - golpes externos - sobre esfuerzo de trabajo - baja lubricación	7	4	4	112
Cilindro de volteo	Transforma la energía hidráulica en energía mecánica para el volteo de cucharón	Consumo de aceite, vibración y deformación del cilindro	Fuga de aceite y juego excesivo	Fisuras en los elementos - desgaste de sellos - golpes externos - sobre esfuerzo de trabajo - baja lubricación	7	4	4	112
Enfriador de aceite hidráulico	Mantiene la temperatura del aceite hidráulico dentro de los límites adecuados	Degradación del aceite	Recalentamiento del aceite hidráulico	Obstrucción por suciedad en los conductos y fugas de refrigerante	7	4	4	112

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 48

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema dirección del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba de dirección	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica para el funcionamiento de la dirección de la máquina	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba con desgaste, cavitación y aeración	Caudal insuficiente - desgaste abrasivo - adaptadores o tubería de succión floja	7	4	4	112
Cilindros de dirección	Proporcionan la fuerza para direccionar las ruedas delanteras	Pérdida de velocidad y potencia	Fuga de aceite y juego excesivo	Fisuras en los elementos - desgaste de sellos - golpes externos - sobre esfuerzos de trabajo - baja de lubricación	7	4	4	112
Mando de dirección	Permite controlar el funcionamiento de las válvulas que controlan los actuadores	Dificultad para maniobrar la máquina	Desgaste del mando	Manejo inadecuado por el operador o exceso de uso	10	4	4	160

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 49

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema freno del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba de freno	Transforma la energía mecánica en energía hidráulica para el funcionamiento del freno de la máquina	El pedal del freno se va al fondo	Baja presión hidráulica	Fugas del líquido de frenos en el sistema	10	4	7	196
Acumulador de presión	Compensan las variaciones de flujo y mantiene una presión constante	Dificultad para operar los elementos	Acumulador defectuoso	Resortes rotos o débiles - demasiada carga o presión	4	4	7	112
Freno de servicio	Mecanismo de frenado de la máquina que se aplica por presión de aceite	La máquina tarda en detenerse	Freno defectuoso	Desgaste de elementos sometidos a fricción	7	4	4	112
Freno de mano	Bloquea el movimiento de la maquinaria cuando se estaciona	La máquina resbala cuando se estaciona	Freno de mano defectuoso	Bajo ajuste en los elementos	7	4	4	112
Mando del freno	Permite controlar el funcionamiento de las válvulas que controlan los actuadores	Pedal del freno duro	Pérdida de eficiencia en el frenado	Bajo nivel de fluido	7	7	4	196

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 50

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema admisión y escape del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Filtros de aire	Recoge los contaminantes e impide la entrada de polvo al motor	Contaminación por partículas de polvo en el sistema de admisión	Filtro desgastado	Cambio de filtro de forma tardía	4	7	10	280
Turbocompresor	Utiliza los gases de combustión para comprimir el aire de admisión	Pérdida de potencia y ruido anormal	Desgaste de componentes y rotura	Altas temperaturas de gases - suministro de aceite inadecuado - suciedad en el aceite y penetración de cuerpos extraños	7	4	7	196

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 51

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema refrigeración del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba de agua	Impulsa el líquido refrigerante por el sistema	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de agua presenta desgaste, cavitación y aeración	Caudal insuficiente - desgaste abrasivo - adaptadores o tuberías de succión floja	7	4	7	196
Radiador	Transfiere el calor del líquido refrigerante al medio ambiente	Aumento de la temperatura del motor y baja presión del sistema	Taponamiento del radiador o fuga del refrigerante	Acumulación de partículas en los conductos - impactos en el componente	7	4	7	196
Agua/Refrigerante	Recolecta el calor producido por el motor para mantenerlo a temperaturas adecuadas para su funcionamiento	Pérdida de propiedades	Deterioro	Acumulación de partículas y mal manejo del refrigerante	7	4	7	196

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 52

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema lubricación del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba de aceite	Encargada de poner en circulación el aceite y hacer que en todo el circuito del motor se mantenga una presión y un caudal adecuado	Pérdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de aceite presenta desgaste, cavitación y aeración	Caudal insuficiente - desgaste abrasivo - adaptadores o tubería de succión floja	7	4	7	196
Aceite del motor	Lubrica los componentes	Daños en la bomba y componentes	Recalentamiento y contaminación	Cambio de filtro inadecuado - partículas de desgaste - sobrecarga de la máquina	7	10	7	490
Carter	Contiene el aceite necesario para la lubricación del motor	Pérdida de aceite en el sistema	Fuga de aceite	Fisuras por impactos - aislamiento de la rosca del tapón	7	4	4	112
Filtros de aceite	Retiene las impurezas que están en suspensión en el aceite	Contaminación del aceite y desgaste de componentes	Desgaste de filtros	Cambio de filtro de forma tardía y mala manipulación - sobrepresiones	7	10	4	280
Enfriador de aceite lubricante	Proporciona la temperatura adecuada del aceite lubricante	Degradación del aceite	Recalentamiento de aceite	Obstrucción por suciedad en los conductos - fuga del refrigerante	10	4	4	160

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 53

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema inyección de combustible del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Bomba de inyección	Suministra la presión y el combustible necesario a los inyectores	Cuesta trabajo arrancar a la máquina o no arranca	Aireación en la bomba	Adaptadores o tubería de succión floja - sellos defectuosos	10	1	10	100
Bomba de cebado	Succiona el combustible y lo lleva a la bomba de inyección	Perdida de presión, alta temperatura y erosión de las paredes de la bomba	Bomba de cebado presenta desgaste, cavitación y aeración	Caudal insuficiente - desgaste abrasivo - adaptadores o tubería de succión floja	7	4	7	196
Riel de inyección	Acumula presión antes de pasar a la cámara de combustión	Pérdida de potencia, motor tarda en encender o no enciende	Baja presión	Filtros tapados - adaptadores flojos - líneas saturadas	7	4	4	112
Filtros de inyección	Retiene las impurezas que están en suspensión en el combustible	Contaminación del combustible y desgaste de componentes	Desgaste de los filtros	Cambio de filtro de forma tardía y mala manipulación	4	10	10	400
Inyectores	Pulveriza el combustible y lo esparce de forma homogénea en la cámara de combustión	Pérdida de potencia, motor tarda en encender o no enciende	Taponamiento de inyectores	Saturación de suciedad	7	4	4	112

Filtro separador de agua	Separa el agua que se encuentra emulsionada con el combustible	Mezcla deficiente	Desgaste de separador	Mala manipulación - reemplazo de componentes de forma tardía	4	4	10	280
--------------------------	--	-------------------	-----------------------	--	---	---	----	-----

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 54

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema distribución del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Árbol de levas	Controlar la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape	Descalibración de las válvulas	Desgaste del árbol de levas	Lubricación deficiente	7	4	7	196
Balancines	Transformar el movimiento lineal del empujador	Descalibración de las válvulas	Desgaste de balancines	Lubricación deficiente	7	4	7	196
Taques	Transforma el movimiento giratorio de la leva en movimiento rectilíneo provocando la apertura de la válvula	Descalibración de las válvulas	Desgaste de taques	Lubricación deficiente	7	4	7	196
Muelles	Brindar el movimiento de cierre de las válvulas siempre y cuando las levas no las abran	Pérdida de sus propiedades mecánicas	Desgaste de muelles	Sobrecalentamiento	7	4	7	196

Válvulas	Controlar la admisión y escape de los gases	Combustión incompleta	Desgaste y agrietamiento de válvulas	Sobrecalentamiento y mala lubricación	7	4	7	196
Piñones de distribución	Transmiten el movimiento hacia el árbol de levas, la bomba de inyección, bomba de aceite y agua	Reduce la presión del engranaje produciendo deslizamientos	Desgaste de piñones	Lubricación deficiente	7	4	7	196

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 55

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema bloque del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Block de motor	Alojar al cigüeñal, las bielas y a los pistones	Daños en los componentes que aloja	Desgaste o fisura del block	Mala lubricación o refrigeración	7	4	7	196
Camisas	Resistir el empuje lateral del pistón por lo que se convierte en la guía del pistón alternativo	Ralladuras de la pared del pistón, anillos y cilindro	Desgaste de camisas	Aumento excesivo de la temperatura	7	4	7	196

Pistón de bloque	Dirigir la fuerza generada por la combustión de la mezcla a la biela	Perdida del movimiento normal	Desgaste o rotura del pistón	Apriete excesivo - mala lubricación o refrigeración - irregularidades en el montaje	7	4	7	196
Anillo de pistón	Actuar como sellos en movimientos que mantienen la presión de combustión y proveen control de aceite en el cilindro, quitar el exceso de lubricante en la pared de cilindro, controlar la lubricación del cilindro	Fugas y consumo de aceite lubricante	Desgaste del anillo	Elevadas temperaturas - mal manejo en el montaje	7	4	7	196
Biela	Transmitir el movimiento del pistón al cigüeñal	Pérdida de la transmisión de movimiento y daños a las piezas cercanas	Roturas o deformaciones de la biela	Movimiento restringido de pistón - sobre esfuerzo de la máquina - falla de cojinetes	10	4	4	160
Volante de inercia	Regularizar el funcionamiento del motor almacenando energía durante la combustión y cediendo en tiempos pasivos	Vibración excesiva	Desgaste o rotura de volante	Dobladuras por mal montaje	10	1	10	100
Culata	Formar una cámara sobre el bloque donde se desarrollará el ciclo de trabajo	Daños en los componentes que aloja	Desgaste de culata	Deformaciones - acumulación de suciedad	7	4	4	112
Junta de culata	Mantener la estanqueidad entre el bloque y la culata evitando que los gases	Filtraciones y fugas del refrigerante y aceite lubricante	Desgaste de junta de culata	Elevadas temperaturas - mal manejo en el montaje	7	4	4	112

	de combustión entren en las cámaras de refrigeración								
Cigüeñal	Convertir el movimiento lineal del pistón en movimiento giratorio para transmitirlo posteriormente al sistema de transmisión	Golpeteo y vibraciones	Desgaste o rotura por fatiga de cigüeñal	Bajo nivel de aceite lubricante - mal manejo en el montaje	10	1	10	100	
Cojinetes de muñones	Evitan el desgaste por rozamiento en los lugares de giro y articulación	Rayaduras y deformaciones de las superficies	Desgaste de cojinetes de muñones	Mala lubricación - errores de montaje	7	4	7	196	
Empaques	Actúan como sellos para evitar fugas de aceite	Filtraciones y fugas del refrigerante y aceite lubricante	Desgaste de empaques	Elevadas temperaturas - mal manejo en el montaje	7	4	4	112	
Polea de cigüeñal	Amortigua las vibraciones y oscilaciones de giro. Absorbe las tensiones producidas por la correa del cigüeñal, impulsa el ventilador o alternador	Vibración excesiva y rotura del cigüeñal	Defecto de polea	Fallas en sus componentes internos	7	4	7	196	
Correa	Transmite el movimiento producido por el cigüeñal	Pérdida de la transmisión	Desgaste de correa	Fricción excesiva	7	4	7	196	

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 56

Análisis modal de fallos y efectos del sub sistema transmisión del sistema tren de fuerza del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Convertidor del par	Transfiere la fuerza y energía del motor hacia la transmisión	Alto consumo de combustible, pérdida de potencia	Elementos internos se traban	Sellos en mal estado - cambio de aceite de forma tardía	7	4	4	112
Diferenciales	Compensan la diferencia de velocidad de giro de las ruedas	Ruido anormal	Desplazamiento defectuoso	Desgaste de sus componentes internos	7	4	4	112
Mandos finales	Desarrollan potencia en las ruedas a la vez que mantienen bajas cargas de torsión en los ejes y la transmisión	Ruido anormal	Desplazamiento defectuoso	Desgaste de sus componentes internos	7	4	4	112
Ruedas motrices	Permite el desplazamiento uniforme de la máquina	Disminución de la tracción	Desgaste de ruedas	Uso excesivo	7	7	4	196
Aceite de transmisión	Lubrica los componentes del sistema de transmisión	Daños en la bomba y componentes	Recalentamiento y contaminación	Cambio de filtro inadecuado - partículas de desgaste - sobrecarga de la máquina	7	4	10	280

Filtros de transmisión	Retienen las partículas de impurezas suspendidas en el aceite	Contaminación de aceite y desgaste de componentes	Desgaste de filtros	Cambio de filtro de forma tardía y mala manipulación - sobrepresiones	7	10	4	280
------------------------	---	---	---------------------	---	---	----	---	-----

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 57

Análisis modal de fallos y efectos del sistema eléctrico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Batería	Almacena la energía necesaria para el arranque de motor	La batería ya no almacena energía	Batería defectuosa	Los bordes se aflojan u oxidan por las vibraciones - sulfatación	7	7	4	196
Motor de arranque	Proporciona las RPM necesarias para el arranque del motor	Dificultad en el arranque del motor, ruidos , humo y olores al arrancar	Cortocircuito	Mal funcionamiento de sus elementos internos	10	7	4	280
Alternador	Transforma la energía mecánica en energía eléctrica	La batería no carga de manera óptima	Desgaste del alternador	Desprendimiento de partes móviles - desgaste de rodamientos	7	4	4	112

Alarma de retroceso	Alarma que suena cada vez que la máquina retrocede	No emite sonido	Sobrecarga eléctrica	sobrecarga eléctrica - ruptura	10	4	4	160
Bocina	Alerta al personal en el terreno del avance de la máquina	No emite sonido	Sobrecarga eléctrica	sobrecarga eléctrica - ruptura	7	4	4	112

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Tabla 58

Análisis modal de fallos y efectos del sistema estructural del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	FUNCIONES	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CAUSA DE FALLO	S	O	D	NPR
Varillaje del cucharón	Permite el movimiento de inclinación de la pala	Trabajo deficiente	Fisura del varillaje	Sobrecarga de material - impactos	7	7	4	196
Varillaje del aguilón	Permite el movimiento de levante de la pala	Trabajo deficiente	Fisura del varillaje	Sobrecarga de material - impactos	10	10	1	100

Herramientas de corte	Ayudan a la penetración y desgarre al cucharón en el terreno de operación	Sobre esfuerzo de la máquina	Desgaste	Materiales abrasivos	10	7	4	280
-----------------------	---	------------------------------	----------	----------------------	----	---	---	-----

Fuente: Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Ya no se vale tener AMFE sin acciones correctivas, pues, aunque tenga NPR menor a 100, se pueden atacar los modos de falla con mayor Severidad. (Delgado, 2016)

D. Selección de tareas de mantenimiento

La selección de la tarea tiene lugar en el orden mostrado y se asegura que la tarea se selecciona con el mínimo riesgo de trabajo innecesario en cada caso.

Tabla 59

Tareas de mantenimiento del sistema hidráulico del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	TAREA DE MANTENIMIENTO
Bomba hidráulica	Bomba presenta desgaste, cavitación y aeración	Consecuencia operacional	Inspección de acoples y limpieza de carcasa
Aceite hidráulico	Contaminación del aceite	Consecuencia escondida	Cambiar aceite hidráulico
Filtros hidráulicos	Desgaste del filtro	Consecuencia escondida	Reemplazar filtro
Acumuladores de presión	Acumulador defectuoso	Consecuencia operacional	Comprobar funcionamiento
Válvula piloto	Válvula atascada	Consecuencia operacional	Limpieza de carcasa
Válvula central	Válvula defectuosa	Consecuencia operacional	Comprobar funcionamiento
Cilindros de elevación	Fuga de aceite y juego excesivo	Consecuencia escondida	Verificar fugas de aceite
Cilindro de volteo	Fuga de aceite y juego excesivo	Consecuencia escondida	Verificar fugas de aceite
Enfriador de aceite hidráulico	Recalentamiento del aceite hidráulico	Consecuencia operacional	Inspeccionar y limpiar panel
Bomba de dirección	Bomba con desgaste, cavitación y aeración	Consecuencia operacional	Verificar presión
Cilindros de dirección	Fuga de aceite y juego excesivo	Consecuencia escondida	Comprobar funcionamiento

Mando de dirección	Desgaste del mando	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento
Bomba de freno	Baja presión hidráulica	Consecuencia de seguridad	Verificar presión
Acumulador de presión	Acumulador defectuoso	Consecuencia operacional	Comprobar funcionamiento
Freno de servicio	Freno defectuoso	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento
Freno de mano	Freno de mano defectuoso	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento
Mando del freno	Pérdida de eficiencia en el frenado	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento

Elaboración: El autor

Tabla 60

Tareas de mantenimiento del sistema potencia del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	TAREA DE MANTENIMIENTO
Filtros de aire	Filtro desgastado	Consecuencia de seguridad	Cambiar filtro de aire
Turbocompresor	Desgaste de componentes y rotura	Consecuencia operacional	Limpiar y revisar funcionamiento
Bomba de agua	Bomba de agua presenta desgaste, cavitación y aeración	Consecuencia operacional	Revisar la bomba de agua
Radiador	Taponamiento del radiador o fuga del refrigerante	Consecuencia operacional	Inspeccionar y limpiar panel
Agua/Refrigerante	Deterioro	Consecuencia escondida	Comprobar el nivel de refrigerante y completar de ser necesario

Bomba de aceite	Bomba de aceite presenta desgaste, cavitación y aeración	Consecuencia operacional	Revisar la bomba de aceite
Aceite del motor	Recalentamiento y contaminación	Consecuencia operacional	Cambiar aceite lubricante
Carter	Fuga de aceite	Consecuencia escondida	Limpieza de tubo respiradero
Filtros de aceite	Desgaste de filtros	Consecuencia operacional	Reemplazar filtro
Enfriador de aceite lubricante	Recalentamiento de aceite	Consecuencia operacional	Inspeccionar y limpiar panel
Bomba de inyección	Aireación en la bomba	Consecuencia operacional	Revisar la bomba de inyección
Bomba de cebado	Bomba de cebado presenta desgaste, cavitación y aeración	Consecuencia operacional	Revisar la bomba de cebado
Riel de inyección	Baja presión	Consecuencia escondida	Comprobar estado
Filtros de inyección	Desgaste de los filtros	Consecuencia operacional	Reemplazar filtro
Inyectores	Taponamiento de inyectores	Consecuencia de seguridad	Comprobar estado y limpieza
Filtro separador de agua	Desgaste de separador	Consecuencia operacional	Revisión del separador de agua y drenar de ser necesario
Árbol de levas	Desgaste del árbol de levas	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza
Balancines	Desgaste de balancines	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza
Taques	Desgaste de taques	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza
Muelles	Desgaste de muelles	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza

Válvulas	Desgaste y agrietamiento de válvulas	Consecuencia operacional	Revisar holgura y ajustar de ser necesario
Piñones de distribución	Desgaste de piñones	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza
Block de motor	Desgaste o fisura del block	Consecuencia operacional	Comprobar apriete de los pernos de sujeción y verificar estado
Camisas	Desgaste de camisas	Consecuencia operacional	Verificar estado
Pistón de bloque	Desgaste o rotura del pistón	Consecuencia operacional	Verificar estado
Anillo de pistón	Desgaste del anillo	Consecuencia operacional	Verificar estado
Biela	Roturas o deformaciones de la biela	Consecuencia operacional	Verificar estado
Volante de inercia	Desgaste o rotura de volante	Consecuencia operacional	Verificar estado
Culata	Desgaste de culata	Consecuencia operacional	Verificar estado y limpieza
Junta de culata	Desgaste de junta de culata	Consecuencia operacional	Verificar estado
Cigüeñal	Desgaste o rotura por fatiga de cigüeñal	Consecuencia operacional	Verificar estado
Cojinetes de muñones	Desgaste de cojinetes de muñones	Consecuencia operacional	Verificar estado
Empaques	Desgaste de empaques	Consecuencia escondida	Verificar estado
Polea de cigüeñal	Defecto de polea	Consecuencia operacional	Verificar estado
Correa	Desgaste de correa	Consecuencia operacional	Reemplazar correa

Elaboración: El autor

Tabla 61

***Tareas de mantenimiento del sistema tren de fuerza del Cargador Frontal
Caterpillar 938G***

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	TAREA DE MANTENIMIENTO
Convertidor del par	Elementos internos se traban	Consecuencia operacional	Reemplazar aceite
Diferenciales	Desplazamiento defectuoso	Consecuencia operacional	Reemplazar aceite de engranaje
Mandos finales	Desplazamiento defectuoso	Consecuencia operacional	Limpiar respiraderos
Ruedas motrices	Desgaste de ruedas	Consecuencia operacional	Comprobar presión y estado de neumático
Aceite de transmisión	Recalentamiento y contaminación	Consecuencia operacional	Reemplazar filtro
Filtros de transmisión	Desgaste de filtros	Consecuencia operacional	Cambiar filtro de transmisión

Elaboración: El autor

Tabla 62

***Tareas de mantenimiento del sistema eléctrico del Cargador Frontal
Caterpillar 938G***

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	TAREA DE MANTENIMIENTO
Batería	Batería defectuosa	Consecuencia operacional	Comprobar nivel de electrólito

Motor de arranque	Cortocircuito	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento
Alternador	Desgaste del alternador	Consecuencia operacional	Revisar potencia de salida del alternador
Alarma de retroceso	Sobrecarga eléctrica	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento
Bocina	Sobrecarga eléctrica	Consecuencia de seguridad	Comprobar funcionamiento

Elaboración: El autor

Tabla 63

Tareas de mantenimiento del sistema estructural del Cargador Frontal Caterpillar 938G

COMPONENTE	MODO DE FALLA	CONSECUENCIA DE FALLA	TAREA DE MANTENIMIENTO
Varillaje del cucharón	Fisura del varillaje	Consecuencia operacional	Inspección y lubricación de varillaje
Varillaje del aguilón	Fisura del varillaje	Consecuencia operacional	Inspección y engrase de todos los pasadores pivote
Herramientas de corte	Desgaste	Consecuencia operacional	Comprobar estado

Elaboración: El autor

E. Resultados del análisis

Como resultado del análisis modal de fallas y efectos (AMFE), y del análisis de criticidad (AC) se determinaron los componentes más críticos del Cargador Frontal Caterpillar 938G.

Tabla 64

Componentes muy críticos del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	NPR	NÍVEL DE CRITICIDAD
1	Filtros hidráulicos	490	MC
2	Aceite del motor	490	MC
3	Filtros de inyección	400	MC

Elaboración: El autor

Tabla 65

Componentes críticos del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	NPR	NÍVEL DE CRITICIDAD
1	Aceite hidráulico	280	C
2	Filtros de aire	280	C
3	Filtros de aceite	280	C
4	Filtro separador de agua	280	C
5	Diferenciales	280	C
6	Mandos finales	280	C
7	Aceite de transmisión	280	C
8	Filtros de transmisión	280	C
9	Motor de arranque	280	C
10	Herramientas de corte	280	C

Elaboración: El autor

Tabla 66

Componentes semi críticos del Cargador Frontal Caterpillar 938G

Nº	COMPONENTE	NPR	NÍVEL DE CRITICIDAD
1	Acumuladores de presión	196	SC
2	Bomba de freno	196	SC
3	Mando del freno	196	SC
4	Turbocompresor	196	SC
5	Bomba de agua	196	SC
6	Radiador	196	SC
7	Agua/refrigerante	196	SC
8	Bomba de aceite	196	SC
9	Bomba de cebado	196	SC
10	Árbol de levas	196	SC
11	Balancines	196	SC
12	Taques	196	SC
13	Muelles	196	SC
14	Válvulas	196	SC
15	Piñones de distribución	196	SC
16	Block de motor	196	SC
17	Camisas	196	SC
18	Pistón de bloque	196	SC
19	Anillo de pistón	196	SC
20	Cojinetes de muñones	196	SC
21	Polea de cigüeñal	196	SC
22	Ruedas motrices	196	SC

23	Batería	196	SC
24	Varillaje del cucharón	196	SC
25	Mando de dirección	160	SC
26	Enfriador de aceite lubricante	160	SC
27	Biela	160	SC
28	Alarma de retroceso	160	SC
29	Bomba hidráulica	112	SC
30	Cilindros de elevación	112	SC
31	Cilindro de volteo	112	SC
32	Enfriador de aceite hidráulico	112	SC
33	Bomba de dirección	112	SC
34	Cilindros de dirección	112	SC
35	Acumulador de presión	112	SC
36	Freno de servicio	112	SC
37	Freno de mano	112	SC
38	Carter	112	SC
39	Riel de inyección	112	SC
40	Inyectores	112	SC
41	Culata	112	SC
42	Junta de culata	112	SC
43	Empaques	112	SC
44	Convertidor del par	112	SC
45	Alternador	112	SC
46	Bocina	112	SC
47	Válvula piloto	100	SC

48	Válvula central	100	SC
49	Bomba de inyección	100	SC
50	Volante de inercia	100	SC
51	Cigüeñal	100	SC
52	Varillaje del aguilón	100	SC

Elaboración: El autor

2.4.1.6. Elaboración del Plan de Mantenimiento Preventivo del Cargador

Frontal Caterpillar 938G

Se estableció el plan de mantenimiento preventivo del Cargador Frontal Caterpillar 938G para los componentes muy críticos y críticos.

Tabla 67

Plan de mantenimiento preventivo del Cargador Frontal Caterpillar 938G

MANTENIMIENTO PREVENTIVO	FRECUENCIA (HORAS)	TAREA
Mantenimiento Preventivo 1	250 horas	Cambio de aceite de motor
		Cambio de filtro de aceite
		Cambio de filtro de inyección
		Cambio de filtro de aire primario
		Cambio de filtro separador de agua
Mantenimiento Preventivo 2	500 horas	Mantenimiento Preventivo 1
		Cambio de filtro hidráulico
		Cambio de filtro de transmisión
		Revisión de nivel de aceite de transmisión
Mantenimiento Preventivo 3	750 horas	Cambio de aceite de mandos finales.
		Cambio de aceite de motor
		Cambio de filtros de aceite

		Cambio de filtro de inyección
		Cambio de filtro de aire primario
		Cambio de filtro separador de agua
		Mantenimiento Preventivo 1
		Cambio de filtro hidráulico
Mantenimiento Preventivo 4	1000	Revisión de aceite hidráulico
		Cambio de aceite de transmisión
		Cambio de aceite de diferenciales
		Cambio de aceite de mandos finales
		Cambio de aceite del motor
		Cambio de filtro de aceite
Mantenimiento Preventivo 5	1250 horas	Cambio de filtro de inyección
		Cambio de filtro de aire primario
		Cambio de filtro separador de agua
		Mantenimiento Preventivo 1
Mantenimiento Preventivo 6	1500 horas	Cambio de filtro hidráulico
		Cambio de filtro de transmisión

		Revisión de nivel de aceite de transmisión
		Revisión de aceite de mandos finales
		Cambio de filtro de aceite secundario
		Cambio de aceite de motor
		Cambio de filtro de aceite
Mantenimiento Preventivo 7	1750 horas	Cambio de filtro de inyección
		Cambio de filtro de aire primario
		Cambio de filtro separador de agua
		Mantenimiento Preventivo 1
		Cambio de filtro hidráulico
Mantenimiento Preventivo 8	2000 horas	Cambio de aceite hidráulico
		Cambio de aceite de transmisión
		Cambio de filtro de transmisión
		Calibración de turbocompresor

Elaboración: El autor

Tabla 68

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 1

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Cambio de aceite de motor	40 minutos
Cambio de filtro de aceite	30 minutos
Cambio de filtro de inyección	30 minutos
Cambio de filtro de aire primario	30 minutos
Cambio de filtro separador de agua	30 minutos
Total	160 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 69

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 2

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Mantenimiento Preventivo 1	160 minutos
Cambio de filtro hidráulico	45 minutos
Cambio de filtro de transmisión	45 minutos
Revisión de nivel de aceite de transmisión	20 minutos
Cambio de aceite de mandos finales	90 minutos
Total	360 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 70

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 3

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Cambio de aceite de motor	40 minutos
Cambio de filtro de aceite	30 minutos
Cambio de filtro de inyección	30 minutos
Cambio de filtro de aire primario	30 minutos
Cambio de filtro separador de agua	30 minutos
Total	160 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 71

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 4

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Mantenimiento Preventivo 1	160 minutos
Cambio de filtro hidráulico	45 minutos
Revisión de aceite hidráulico	20 minutos
Cambio de aceite de transmisión	90 minutos
Cambio de aceite de diferenciales	90 minutos
Cambio de aceite de mandos finales	90 minutos

Total	495 minutos
--------------	--------------------

Elaboración: El autor

Tabla 72

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 5

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Cambio de aceite de motor	40 minutos
Cambio de filtro de aceite	30 minutos
Cambio de filtro de inyección	30 minutos
Cambio de filtro de aire primario	30 minutos
Cambio de filtro separador de agua	30 minutos
Total	160 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 73

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 6

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Mantenimiento Preventivo 1	160 minutos
Cambio de filtro hidráulico	45 minutos

Cambio de filtro de transmisión	45 minutos
Revisión de nivel de aceite de transmisión	20 minutos
Revisión de aceite de mandos finales.	90 minutos
Cambio de filtro de aire secundario	30 minutos
Total	390 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 74

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 7

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Cambio de aceite de motor	40 minutos
Cambio de filtro de aceite	30 minutos
Cambio de filtro de inyección	30 minutos
Cambio de filtro de aire primario	30 minutos
Cambio de filtro separador de agua	30 minutos
Total	160 minutos

Elaboración: El autor

Tabla 75

Tiempos de Mantenimiento Preventivo 8

TAREA	TIEMPO (MINUTOS)
Mantenimiento Preventivo 1	160 minutos
Cambio de filtro hidráulico	45 minutos
Cambio de aceite hidráulico	40 minutos
Cambio de aceite de transmisión	40 minutos
Cambio de filtro de transmisión	45 minutos
Calibración de turbocompresor	90 minutos
Total	420 minutos

Elaboración: El autor

2.4.1.7. Implementación de indicadores de gestión de equipo

Para el cálculo de indicadores de gestión de equipo definidos en el Capítulo I, se desarrolló hojas excel para el registro de información por parte del personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción, a fin de implementar la medición de indicadores como el MTTR, MTBF y Disponibilidad Mecánica.

A. Valores de indicadores de gestión de equipo antes de la propuesta

Tabla 76

Consolidado 2019 de indicadores de gestión de equipos del Cargador Frontal Caterpillar 938G

AÑO	HORAS TOTALES	HORAS OPERACIÓN	NÚMERO PARADAS MP NO PROGRAMADO	HORAS PARADAS MP	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS	DISPONIBILIDAD MECÁNICA
2019	(HORAS)	(HORAS)	(N°)	(HORAS)	MTTR (HORAS)	MTBF (HORAS)	DM (%)
Total	2400	1632	67	768	11.46	24.36	0.68

Elaboración: El autor

En la Tabla 76 se muestra los valores de los indicadores de gestión de equipo correspondientes al periodo 2019 del Cargador Frontal Caterpillar 938G, en este análisis se observa que la disponibilidad mecánica se encuentra en 68%, es decir por debajo de la disponibilidad recomendada. (TECSUP, 2020)

B. Cálculo de los valores de indicadores de gestión de equipos con la propuesta de un Plan de Mantenimiento Preventivo

Tabla 77

Datos consolidados para cálculo de indicadores de gestión de equipo del Cargador Frontal Caterpillar 938G

AÑO	HORAS TOTALES	HORAS OPERACIÓN	NÚMERO PARADA MP	HORAS PARADAS MP
2020	(HORAS)	(HORAS)	(N°)	(HORAS)
Total	2400	2339	12	62

Elaboración: El autor

- Cálculo de indicador disponibilidad mecánica (DM)

Ecuación 4

Cálculo de DM con el Plan de Mantenimiento Preventivo

$$DM = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento preventivo}}{\text{Horas totales}}$$

$$DM (\%) = \frac{2400 - 62}{2400}$$

$$DM (\%) = 0.9741$$

- **Calculo de indicador tiempo promedio entre fallas (MTBF)**

Ecuación 5

Cálculo de MTBF con el Plan de Mantenimiento Preventivo

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas preventivas}}$$

$$MTBF (\text{Horas}) = \frac{2339}{12}$$

$$MTBF (\text{Horas}) = 194.92$$

- **Calculo de indicador tiempo promedio para reparación (MTTR)**

Ecuación 6

Cálculo de MTTR con el Plan de Mantenimiento Preventivo

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de paradas mantenimiento preventivo}}{N^{\circ} \text{ de paradas mantenimiento preventivo}}$$

$$MTTR (\text{Horas}) = \frac{62}{12}$$

$$MTTR (\text{Horas}) = 5.16$$

Tabla 78

Consolidado de indicadores de gestión de equipo con el Plan de Mantenimiento Preventivo

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLAS	DISPONIBILIDAD MECÁNICA
MTTR (HORAS)	MTBF (HORAS)	DM (%)
5.16	194.92	0.9746

Elaboración: El autor

2.4.1.8. Implementación de software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos

Para la propuesta de implementación de software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos, se tomó en consideración los criterios para la elección del proveedor de software definidos en el Capítulo I, previo análisis de evaluación entre tres opciones para adquisición de software de mantenimiento.

- Software in-house

Esta opción de desarrollo de software por parte de la Oficina de Informática y Tecnologías de la Información de la municipalidad se descarta debido a que no cuenta con área de desarrollo de software.

- SISMAC (Sistema de Mantenimiento Asistido por Computador)

Es una alternativa para la gestión del mantenimiento, C&V Ingeniería Cía. Ltda. brinda productos de capacitación, auditoría, consultoría y asesoría de alta calidad, para que las empresas a nivel de Ibero América organicen, tecnifiquen y optimicen su gestión activos y mantenimiento. Somos desarrolladores de CMMS SisMAC Software de Mantenimiento, es una poderosa herramienta que ayuda a reducir costos de mantenimiento y maximizar la disponibilidad de los bienes/instalaciones. (C&V Ingeniería Cía Ltda., 2018)

- **GMAO (Software de Gestión de Mantenimiento)**

Es un software de gestión de mantenimiento desarrollado por RENOVETEC que aspira a convertirse en la referencia en software GMAO en instalaciones industriales y en edificios singulares. El mercado demanda programas de mantenimiento gratuitos o de muy bajo coste, que no tengan además costosas licencias anuales que pagar. El mercado tampoco busca, en la mayoría de los casos, aplicaciones complejas a las que nunca sacará todo su partido, pero que encarecen la aplicación y complican su uso. Es una aplicación de características profesionales, útil, eficaz y sencilla. Gracias a su sencillez de manejo, el técnico de mantenimiento encontrará un entorno amigable e intuitivo. Actualmente está disponible en dos versiones: la versión DEMO y la versión profesional. (Renovetec, 2018)

Tabla 79

Características de software de mantenimiento

CARACTERÍSTICAS	SOFTWARE	
	SISMAC	GMAO
Lenguaje de programación	Visual Basic	Java y PHP
Base de Datos	SQL Server, Informix, DB2, Oracle, Ms Acces	PostgreSQL
Sistema Operativo	Windows 9x, Me, XP, NT, 2000, Vista, 7	Windows 7 o superior (64 bits)
Proveedor	C&V Ingeniería Cía. Ltda.	Renove Tecnología S.L.
Soporte	Support@sismac.net	Renovefree@renovetec.com
Procedencia	Ecuador	España

Elaboración: El autor

Tabla 80

Aplicación de criterios para elección del proveedor de software de mantenimiento

SOFTWARE	CRITERIO ECONÓMICO	CRITERIO DE AFINIDAD	REPUTACIÓN DEL SOFTWARE	ESPECIALIZACIÓN DEL SOFTWARE	ESPECIALIZACIÓN DE CONSULTORÍA	DEMOSTRADA EFICACIA EN EMPRESAS DEL SECTOR	SOFTWARE CERRADO	SOFTWARE A MEDIDA	CONECTIVIDAD	SOPORTE	ADAPTACIÓN A LA NORMATIVA	PLATAFORMA Y EVALUACIÓN DE SOFTWARE	MIGRACIÓN DE DATOS	SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN	MODULARIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN
SISMAC	No	No	Sí	Sí	Si	Si	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí
GMAO	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Elaboración: El autor

Luego de la aplicación de los criterios para la elección del proveedor de software se tomó la decisión de proponer la implementación del software de mantenimiento GMAO (RENOVEFREE versión 6.0) desarrollado por Renove Tecnología S.L., a fin de automatizar la generación de órdenes de trabajo y elaboración de requerimientos, entre otras ventajas.

Adicionalmente, se tomó en cuenta que el plan de mantenimiento generado por RENOVEFREE versión 6.0 está basado en protocolos de mantenimiento, que parten de la idea de que los equipos se pueden agrupar por tipos y a cada tipo le corresponde la realización de una serie de tareas, con independencia de quien sea el fabricante. Una vez definidos estos protocolos, se debe elaborar el plan de mantenimiento, en donde se generan todas las gamas de mantenimiento que pasan a ser importadas al plan de mantenimiento, para las fechas que indique el usuario y finalmente generadas como ordenes de trabajo preventivas.

A. Características del software de mantenimiento

Las principales características del software de mantenimiento RENOVEFREE versión 6.0 son las siguientes:

- Gestión de activos, con su árbol jerárquico.
- Gestión de personal, usuarios de la aplicación y privilegios de acceso.
- Gestión del mantenimiento programado y de las gamas de mantenimiento.
- Incluye la creación automática del plan de mantenimiento programado
- Programación de mantenimiento (Preventivo y Correctivo).
- Gestión de órdenes de trabajo (O.T.), preventivas y correctivas.
- Gestión de los descargos y de la seguridad al realizar órdenes de trabajo (O.T.).
- Gestión de compras, repuestos y almacenes.
- Permitir copias de seguridad.
- Conexión en red.

B. Requisitos del software de mantenimiento

1. Requisitos RENOVEFREE PRO SERVER

Los requisitos del ordenador en el que puede instalarse RENOVEFREE 6.0 PRO SERVER son las siguientes:

- Procesador Intel i5 o superior
- Memoria RAM mínima 6 GB.
- Sistema operativo Windows 7 o superior (recomendable 64 bits). Funciona de forma optimizada con Windows 8.
- Memoria mínima inicial disponible en disco duro: 10 GB.
- Debe disponerse de una impresora conectada al ordenador, correctamente configurada y con sus drivers instalados.
- Es necesario disponer de una red informática correctamente configurada.
- El cliente debe tener instalado JAVA.
- Es recomendable tener instalada la última versión disponible de ADOBE READER.

2. Requisitos RENOVEFREE versión PRO CLIENT

Los requisitos mínimos para que funcione correctamente RENOVEFREE 6.0 PRO CLIENT son las siguientes:

- Procesador Intel i3 o superior.
- Memoria RAM mínima, 4 GB. (Recomendable 6 GB)
- Sistema operativo Windows 7 o superior (recomendable 64 bits). Funciona de forma optimizada con Windows 8.
- Memoria mínima inicial disponible en disco duro: 1 GB.
- El cliente debe tener instalado JAVA
- Es recomendable tener instalada la última versión disponible de ADOBE READER.

C. Configuración inicial del software de mantenimiento

Permite una configuración inicial de los distintos módulos de trabajo en la que desarrollamos la aplicación. Desde la opción inicio ubicada en el menú de la pantalla principal de RENOVFREE 6.0 se gestionará todo lo relativo a CONFIGURACIÓN INICIAL.

1. Configuración inicial

En la configuración inicial tendríamos tres partes:

- Realizar cargas masivas con archivos en formato ‘.csv’, de tablas que tengan la misma estructura en la que RENOVFREE está configurado.
- Cambiar logo: hacemos clic en cargar logo, y elegimos el logo que tengamos guardado en nuestro ordenador, y queremos que tengamos guardado en nuestro ordenador, y queremos que tenga nuestra versión de Renovfree, en su esquina superior izquierda.
- Configuración de cuenta de correo saliente.

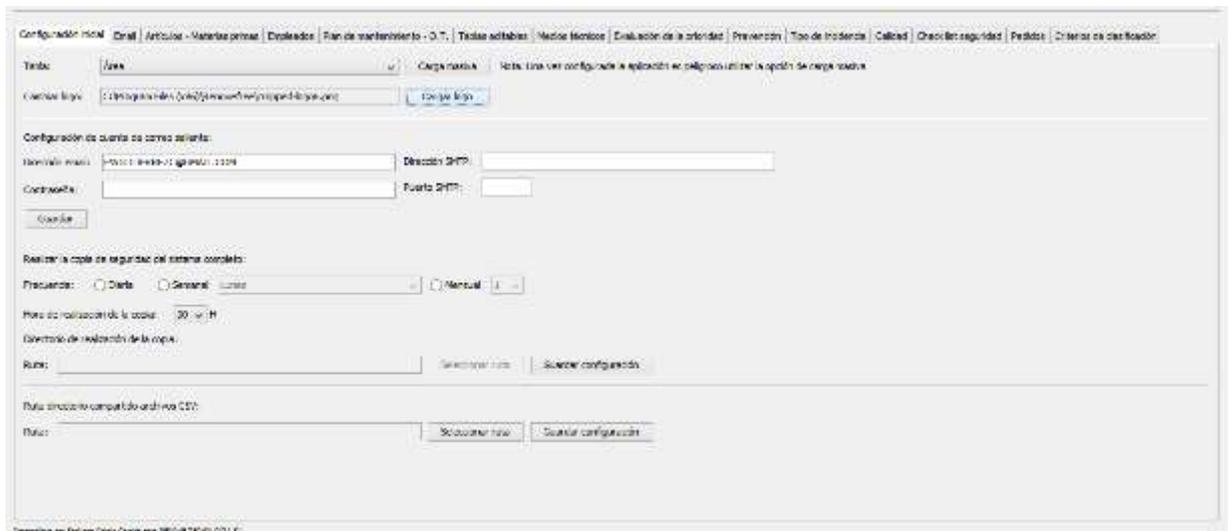


Figura 26. Ventana configuración inicial

Elaboración: El autor

2. Email

En la pestaña email encontraremos distintos apartados (compras, repuestos, plan de mantenimiento O.T., incidencias) donde introduciremos las direcciones del correo electrónico de los usuarios

a los que queremos que el programa les envíe email en cada caso:
compras, repuestos, plan de mantenimiento e incidencias.

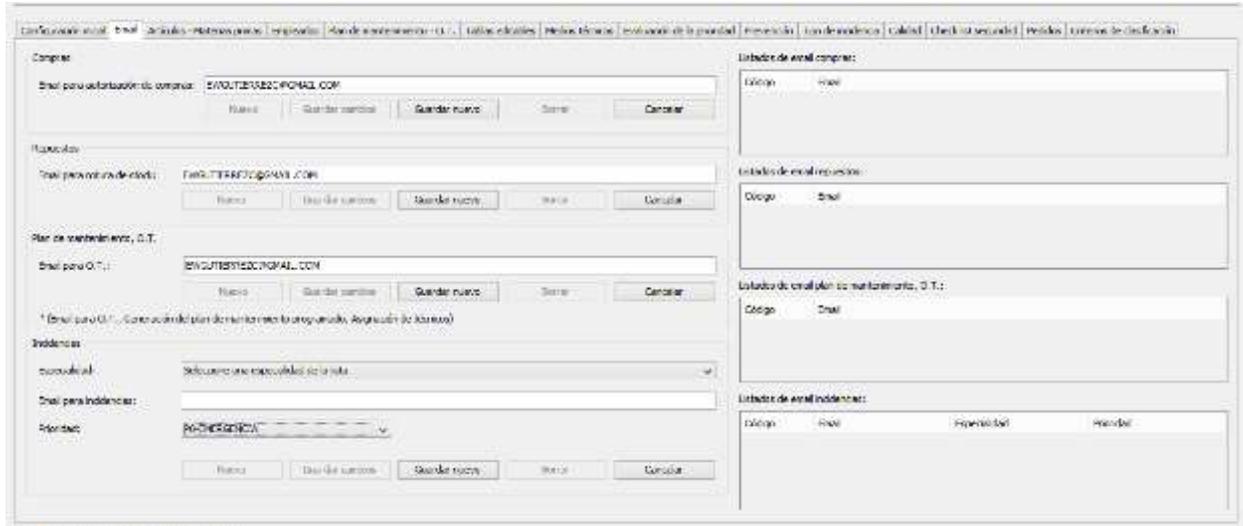


Figura 27. Ventana email

Elaboración: El autor

3. Artículos

En la pestaña artículos introduciremos la familia y subfamilia de los artículos que existirán en la instalación, se utilicen en O.T.S, en pedidos a proveedores, etc.

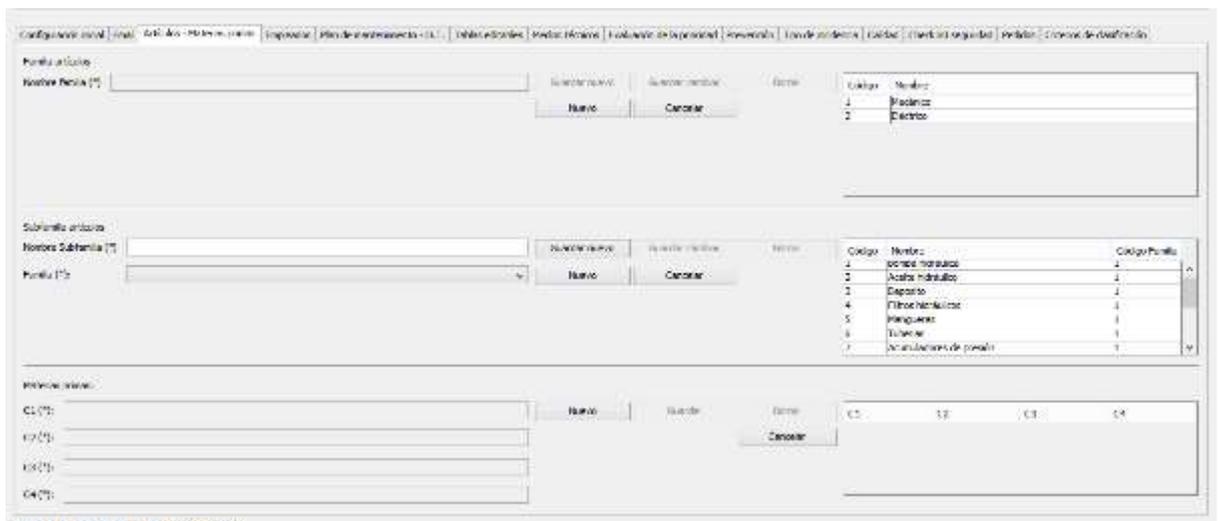


Figura 28. Ventana introducir artículos

Elaboración: El autor

4. Empleados

En la pestaña empleados tenemos dos partes que configurar, una referente a cargos de los empleados y otra referida a persona de contacto.

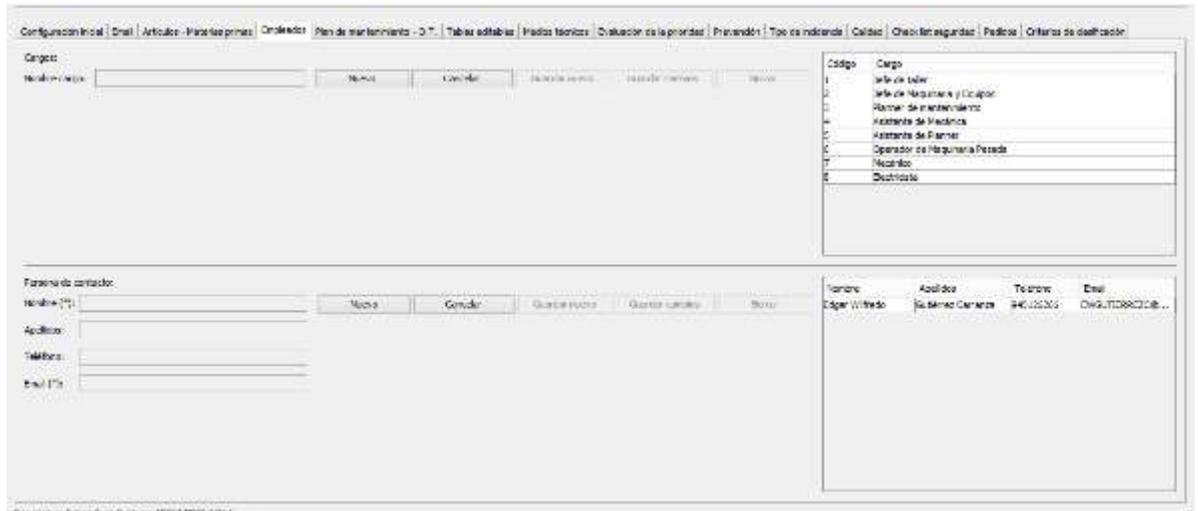


Figura 29. Ventana empleados

Elaboración: El autor

5. Plan de mantenimiento-O.T.

En la pestaña plan de mantenimiento-O.T. tenemos unos apartados donde elegir opciones de configuración (tanto del plan de mantenimiento como de la gestión de O.T.) un apartado de especialidades y otro de causas probables.

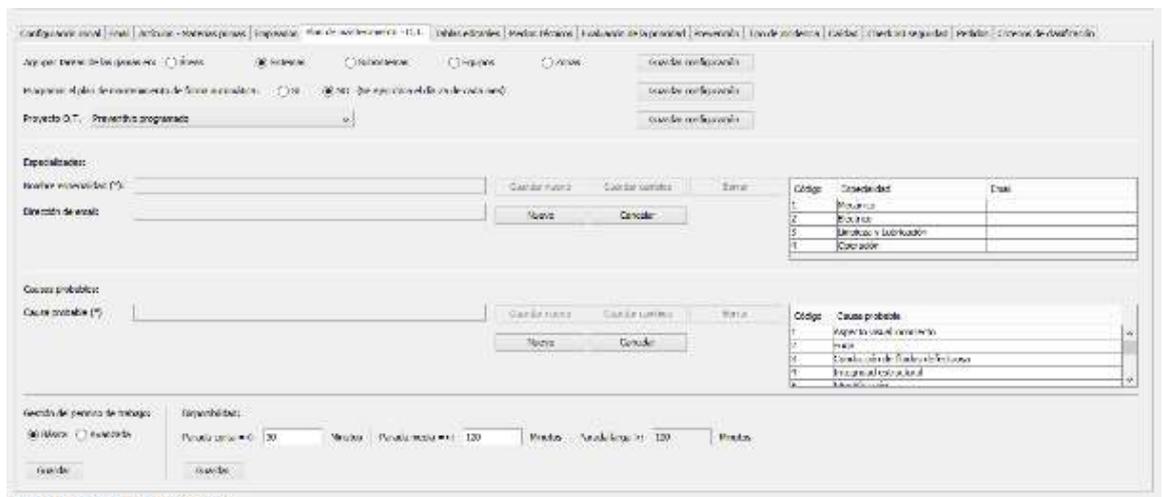


Figura 30. Ventana plan de mantenimiento-O.T.

Elaboración: El autor

6. Tablas editables

Las tablas editables hacen referencia a la estructura que tienen las diferentes tablas a la hora de introducir los datos de trabajo con RENOVEFREE. En esta pestaña, podremos seleccionar en el desplegable la tabla con la que queremos trabajar, y exportarla como archivo '.CSV'.

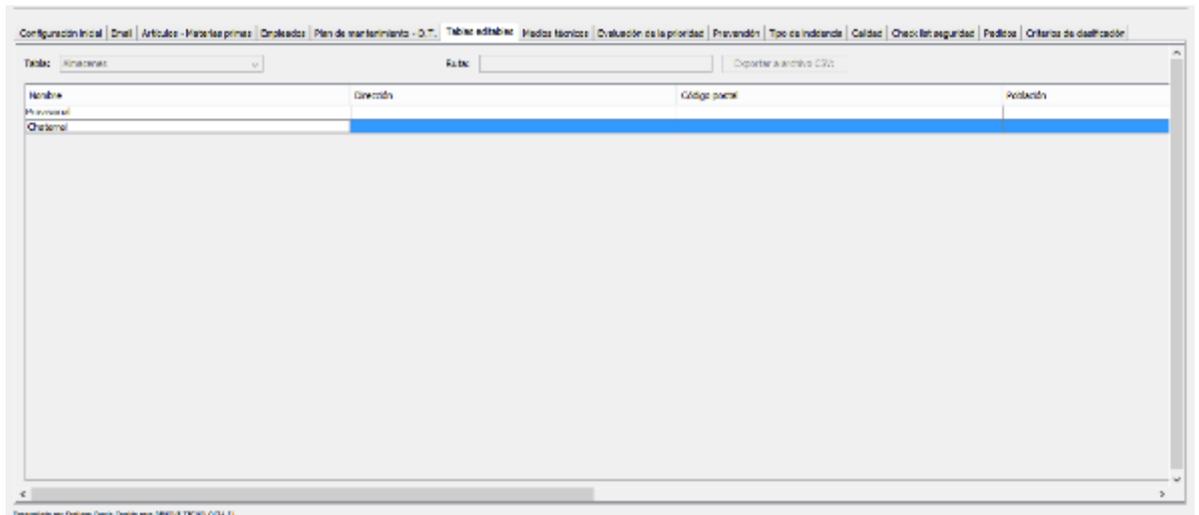


Figura 31. Ventana visualización de tablas editables

Elaboración: El autor

7. Medios técnicos

Los medios técnicos se refieren a las herramientas que utilizaremos en todas aquellas tareas que sean necesarias para intervenir a la hora de realizar una actividad, ya sean ordenes de trabajo, actividades de seguridad, incidencias, etc. Todas aquellas que el programa tenga que tener en cuenta la utilización de alguna herramienta para su realización.

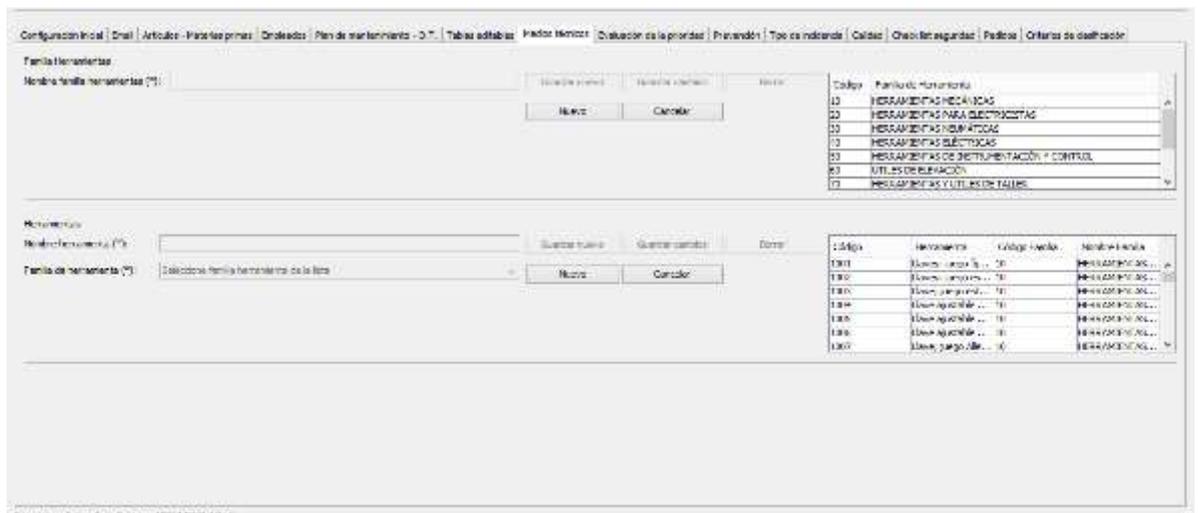


Figura 32. Ventana editar herramientas

Elaboración: El autor

8. Evaluación de la prioridad

En la pestaña evaluación de la prioridad encontraremos por defecto, los apartados: Impacto en seguridad, impacto en medio ambiente, impacto en coste de producto, impacto operacional, coste potencia e impacto en calidad del producto. A la hora de evaluar la prioridad de incidencias que encontramos en el menú principal de incidencias, tenemos que tener este apartado previamente configurado.

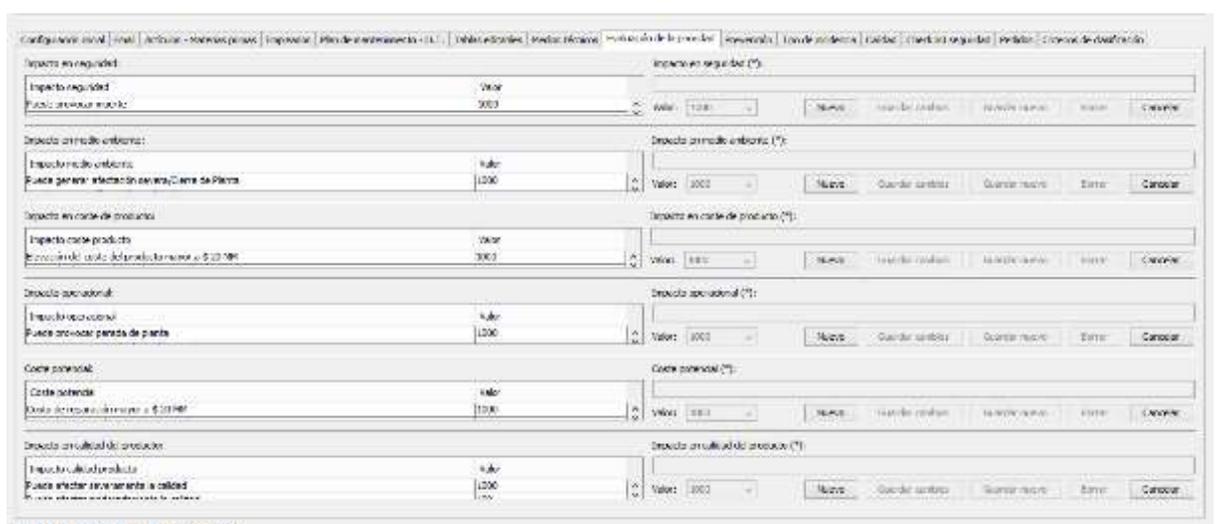


Figura 33. Ventana editar evaluación de prioridad

Elaboración: El autor

9. Prevención

En la pestaña prevención, encontraremos por defecto, los apartados: Equipo de protección individual (EPI), Riesgos, Procedimiento de Seguridad, Candados, y Recomendaciones de Seguridad. Existirán, instalados con el programa algunos EPI o riesgos, pero se pueden crear nuevos, editar o borrar de cada uno de los apartados que se tienen que tener en cuenta para la seguridad a la hora de realizar una tarea o actividad.

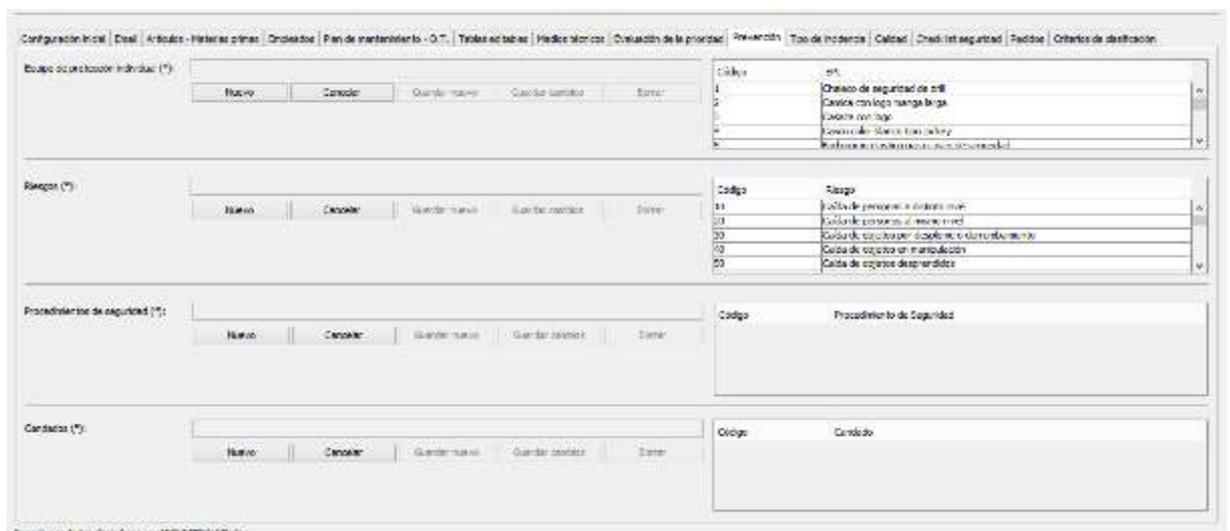


Figura 34. Ventana editar prevención

Elaboración: El autor

10. Tipo de incidencia

En la pestaña tipo de incidencia, encontraremos tipo de incidencia y sub tipo de incidencia. Existen por defecto una serie de incidencias que vienen establecidas en la instalación del programa.

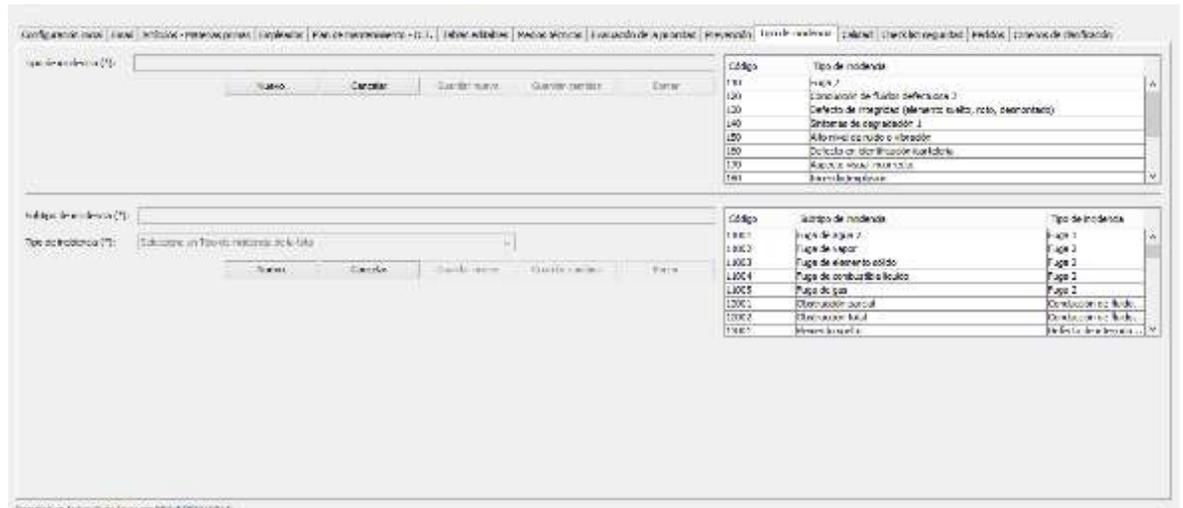


Figura 35. Ventana editar tipo de incidencia

Elaboración: El autor

11. Calidad

A la hora de realizar una actividad, tarea, O.T., reporte, etc., existirá un apartado donde se debe contestar a unas preguntas de calidad que se le asigna a la actividad realizada, para comprobar cómo se ha realizado.

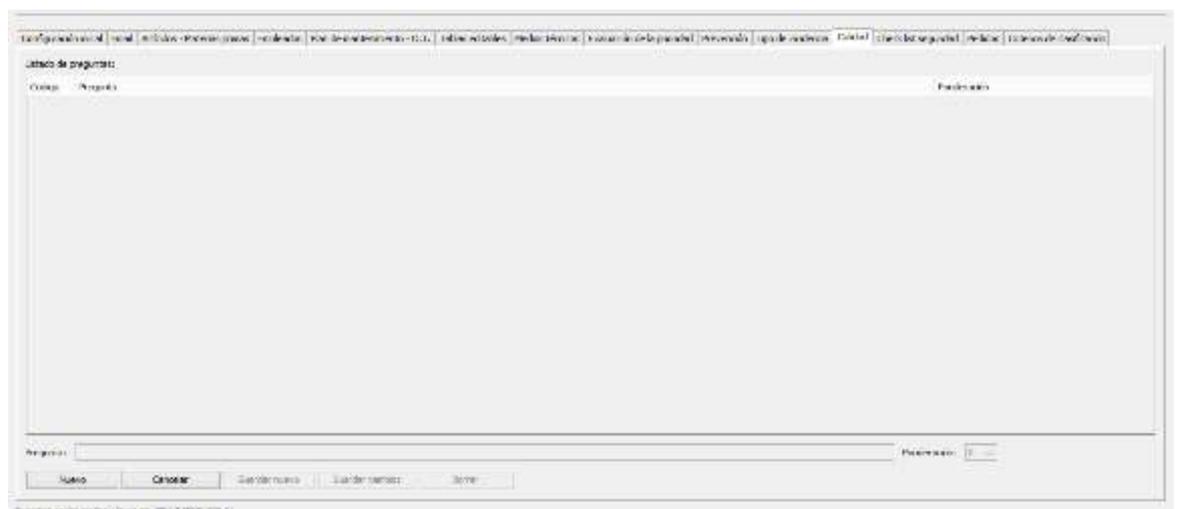


Figura 36. Ventana crear nueva pregunta de calidad

Elaboración: El autor

12. Check list de seguridad

En el momento en el que haya que realizar una actividad, tarea, O.T., reporte, etc., existirán una serie de check list asociados para comprobar que realizamos esas actividades con la suficiente seguridad en el trabajo.

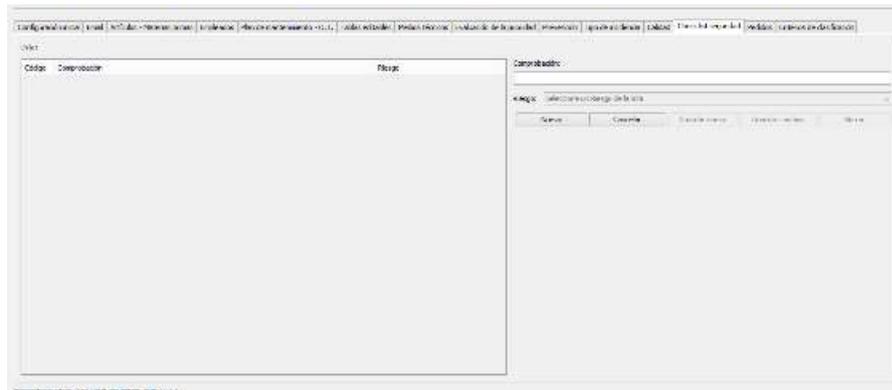


Figura 37. Ventana editar check list de seguridad

Elaboración: El autor

13. Pedidos

Cuando haya que realizar pedidos en nuestro apartado del menú principal de compras, debemos tener configurado previamente esta pestaña. En los apartados de la pestaña pedidos de configuración inicial, tenemos que completar los datos tanto de dirección de envío como datos fiscales.

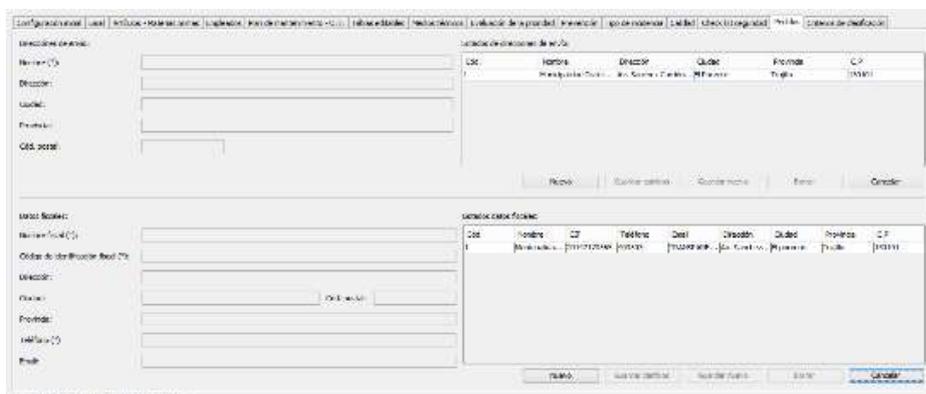


Figura 38. Ventana editar datos fiscales

Elaboración: El autor

D. Módulos

La aplicación RENOVEFREE 6.0 consta de once módulos, cada uno de ellos dedicado a una función muy concreta.



Figura 39. Ventana principal Renovefree 6.0.8

Elaboración: El autor

1. Módulo Inicio

El primero de los módulos de los que consta está dedicado al propio sistema, y contiene información que de emplea en diferentes programas.

De este módulo destaca el submódulo de ‘Configuración inicial’, en él se detallan datos tan importantes como las cuentas de correo a las que deben enviarse información sobre autorizaciones, generación de incidencias sobre ordenes de trabajo, etc. Y, además, encontramos la opción de configuración de especialidades, riesgos, etc.

El segundo submódulo importante dentro de este módulo, es el dedicado a las ‘Copias de seguridad’, ya que la seguridad informática en el uso de aplicaciones que utilizan base de datos requiere de la realización constante de copias de seguridad, así en caso que falle el hardware o software no perderemos la información acumulada.

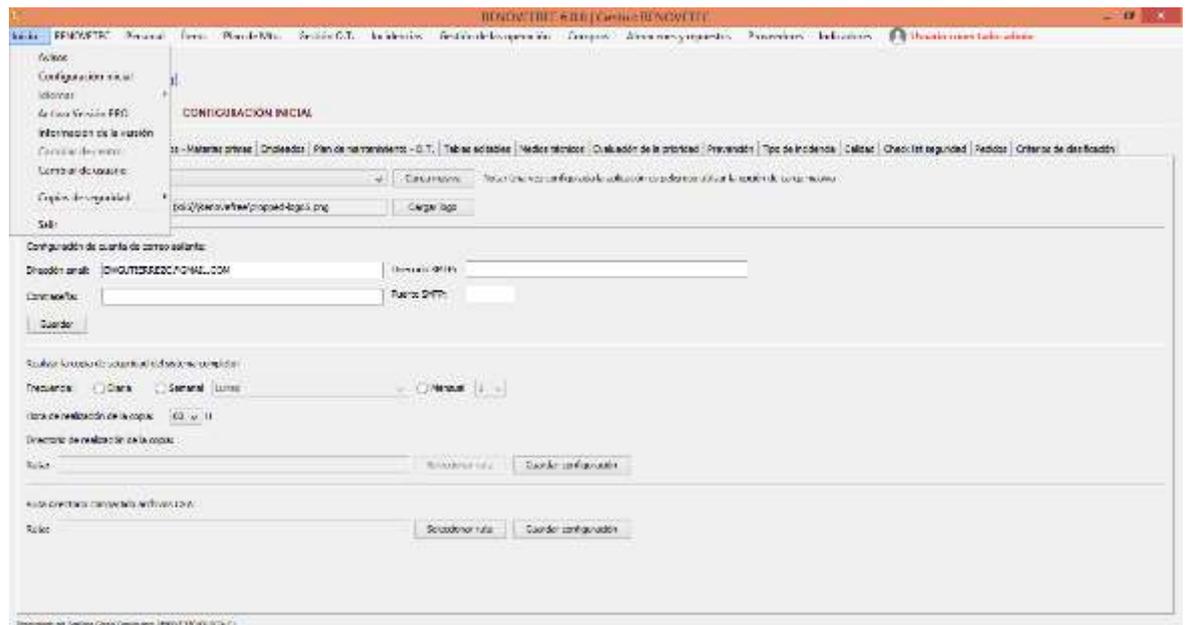


Figura 40. Ventana módulo inicio

Elaboración: El autor

2. Módulo Personal

Existe un módulo para dar de alta usuarios de la aplicación e introducir sus principales características, como datos de carácter personal o profesional y costes-hora.

Este costes-hora será utilizado más tarde en la realización de órdenes de trabajo, para calcular el coste en el que se incurre en realizar cada una de ellas.

Este módulo también incluye la posibilidad de añadir personal externo, personal que no es de la entidad, sino que son contratados y subcontratados cuyo personal debe acceder para dejar registrada la actividad que realizan.

Por último, en este módulo de personal, está el apartado privilegios, en él se configuran que es lo que puede hacer cada usuario de la aplicación, teniendo en cuenta que no todos los usuarios tienen los mismos derechos de acceso, ni pueden consultar o registrar cualquier información.

Es importante tener en cuenta que, en esta sección, se debe incluir datos de carácter personal por lo que deben ser tratados con las obligaciones legales que correspondan.

En el submódulo de empleados debe introducir los empleados a los que después se le podrá asignar órdenes de trabajo.

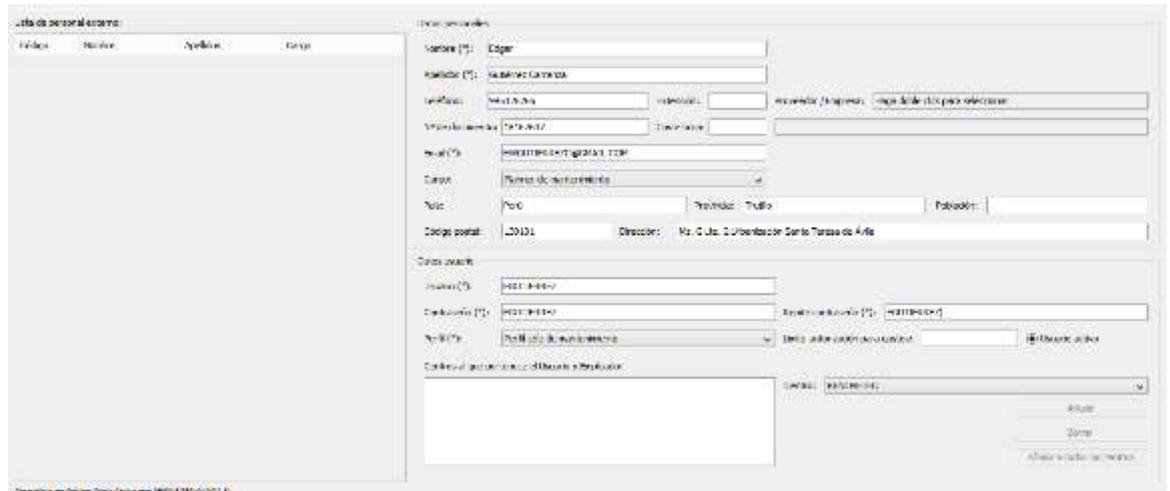


Figura 41. Ventana crear nuevo empleado

Elaboración: El autor

3. Módulo Ítems

En este módulo se define la infraestructura y elementos o ítems del centro en una estructura jerárquica, en donde cada entidad en la estructura, excepto el centro, está subordinada a una entidad única.

Renovfree 6.0 le permite crear, editar y borrar los ítems del centro a través de sus dos modelos de estructura jerárquica, basados en su función o en su ubicación.

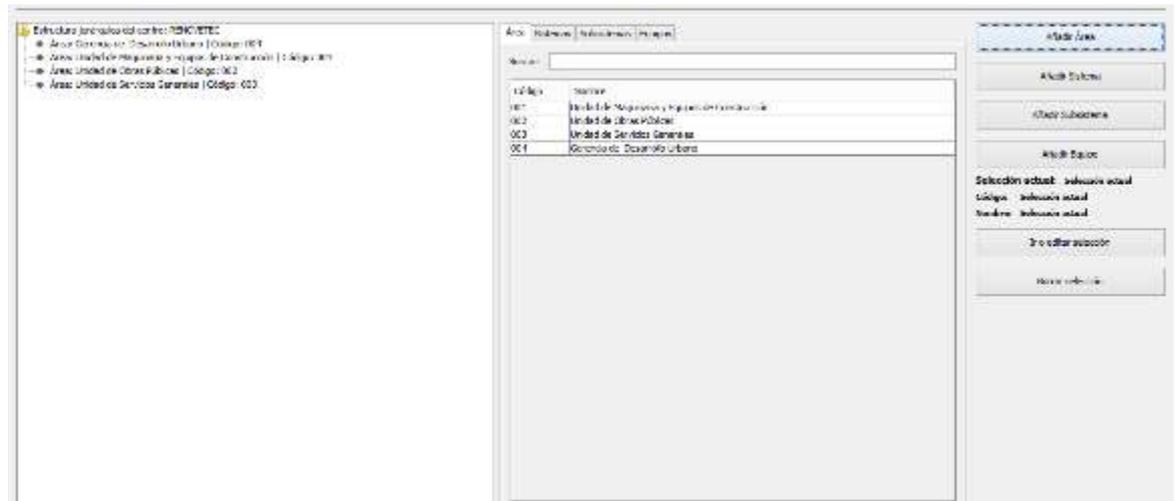


Figura 42. Estructura jerárquica Renovefree 6.0

Elaboración: El autor

La estructura jerárquica por función es una herramienta muy útil en la gestión de activos, ya que permite ver y gestionar las áreas, sistemas, subsistemas, y equipos del centro. Debe hacer clic en el símbolo de un signo más (+), para desplegar todos los elementos que contiene el ítem. En un principio saldrá la lista con las áreas correspondientes al centro en que se encuentra, a medida vaya desplegando se encontrará los sistemas correspondientes de cada área, seguidamente de los subsistemas que conforman los sistemas y finalmente los equipos que se encuentran en los diferentes subsistemas.

La estructura jerárquica por ubicación es una herramienta muy útil en la gestión de activos, ya que permite ver y gestionar las secciones, zonas y equipos del centro. Renovefree 6.0 dispone de botones de acceso directo que le permiten crear, editar y borrar secciones, zonas geográficas y equipos del centro. Debe hacer clic en el símbolo de un signo más (+), para desplegar todos los elementos que contienen el ítem. En un principio saldrá la lista con las secciones correspondientes al centro en el que se encuentra, a medida vaya desplegando se encontrará las zonas correspondientes a cada sección, y finalmente los equipos que se encuentran en las diferentes zonas.

4. Módulo Plan de Mantenimiento

Para RENOVEFREE el plan de mantenimiento es el conjunto de tareas de mantenimiento programado, agrupadas siguiendo algún tipo de criterio incluyendo a una serie de equipos del centro, que habitualmente no son todos. El usuario decidirá qué conjunto de equipos considera no mantenibles desde el punto de vista preventivo, en los cuales es mucho más económico aplicar una política puramente correctiva.

Para facilitar su gestión, RENOVEFREE 6.0 agrupa las tareas que tienen un elemento común. Esta agrupación es habitualmente conocida como GAMA DE MANTENIMIENTO.

Los tres criterios habituales para agrupar tareas de mantenimiento son los siguientes:

- Que pertenezcan al mismo sistema. Es posible agrupar las tareas por equipos, pero hay que tener en cuenta que mientras existen entre 20 y 30 sistemas diferentes en una central, hay más de 300 equipos mantenibles, lo que generaría un gran número de gamas y órdenes de trabajo.
- Que se ejecuten por el mismo especialista. De esta forma habrá gamas eléctricas, mecánicas, de instrumentación, etc.
- Que se ejecuten con la misma periodicidad. Así, habrá gamas diarias, semanales, mensuales, etc.

El plan de mantenimiento generado por RENOVEFREE 6.0 está basado en PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO, que parten de la idea de que los equipos se pueden agrupar por tipos y a cada tipo le corresponde la realización de una serie de tareas, con independencia de quien sea el fabricante. Una vez definidos estos protocolos, se debe elaborar el plan de mantenimiento, en donde se generan todas las gamas de mantenimiento que pasan a ser importadas al plan de mantenimiento, para las fechas que indique el usuario y finalmente generadas como ORDENES DE TRABAJO PREVENTIVAS.

PROTOCOLOS DE MANTENIMIENTO

Para elaborar el plan de mantenimiento de un centro es necesario introducir sus protocolos de mantenimiento, que están compuesto de todas las tareas de mantenimiento que deben llevarse a cabo en un sistema, en un subsistema o en un equipo de forma periódica.

Para ello, lo primero es ordenar los equipos a los cuales se le va hacer un plan de mantenimiento, en este sentido, RENOVREFREE 6.0 valiéndose del concepto de estructura jerárquica los ordena en: Familias, Subfamilias y Equipos Genéricos permitiendo encontrar de forma rápida y sencilla el equipo genérico al cual se le va aplicar dicho protocolo.

Una vez incluidas las familias, subfamilias y equipos genéricos, el usuario debe añadir las tareas de mantenimiento asociadas a él. El usuario podrá añadirlas, editarlas o borrarlas como considere oportuno.

Los protocolos de mantenimiento son una de las claves de Renovefree 6.0, en Renovefree Pro encontraras más de 100 protocolos que han sido elaborados y supervisados por RENOVETEC, basados en su amplia experiencia, el cual se le ha dado el nombre de Protocolo Maestro, ya que es un protocolo que contiene todas la tareas de mantenimiento posibles que ha identificado como posibles dentro de un equipo sea cual sea lo que quiera hacer y sea cual sea las características, es el equipo genérico más complejo que hubiera en el mercado, por lo tanto, se puede simplificar o ajustar algunas de las tareas que estén incluidas en este protocolo.

Para la gestión de protocolos de mantenimiento previamente deben incluir los siguientes datos del centro: datos del personal incluyendo empleados, cargos de los empleados, activos de la planta incluyendo áreas, sistema, subsistema y equipos.

Para **gestionar el protocolo de mantenimiento** debe seguir los siguientes pasos:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta plan de mantenimiento.

2. Buscar en el menú desplegado la etiqueta protocolos de mantenimiento.
3. Se abrirá la ventana protocolos de mantenimiento.
4. Se mostrará en esta ventana los protocolos del centro introducidos por Renovfree 6.0
5. En esta ventana debe incluir el protocolo de mantenimiento: añadir nuevo ítem, de ser necesario puede seleccionar un ítem y editarlo o borrarlo, añadir tareas de mantenimiento a equipos genéricos.

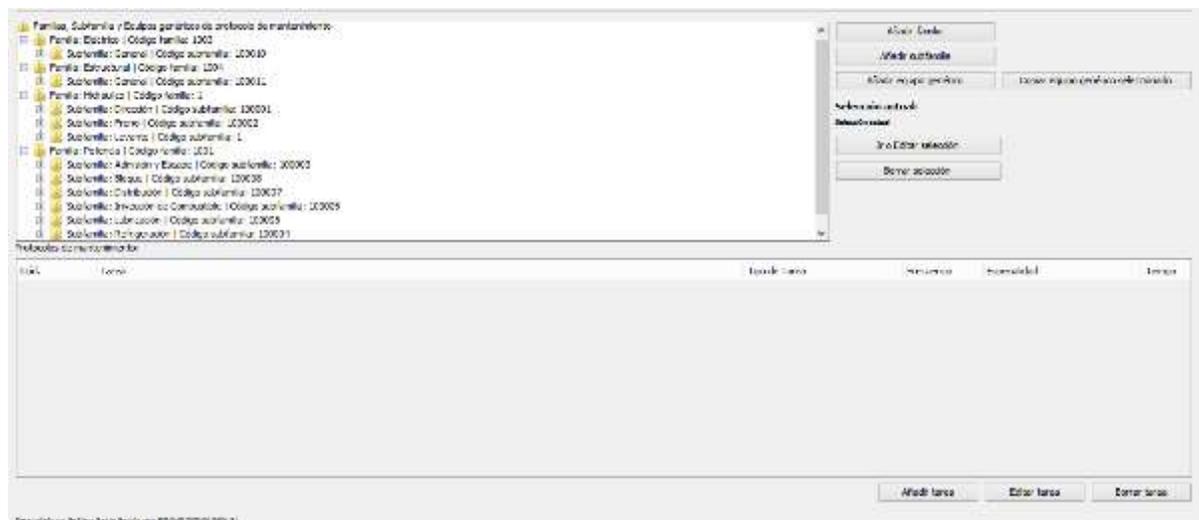


Figura 43. Ventana mostrar protocolos de mantenimiento

Elaboración: El autor

Para **añadir familia** debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en añadir familia
2. Se abrirá la ventana emergente de añadir familia de protocolo
3. Debe cumplimentar la siguiente casilla: nombre.
4. Debe verificar la información y hacer clic en guardar.
5. Observará que inmediatamente se ha añadido la familia a la estructura jerárquica.

Para **añadir subfamilia** debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en añadir subfamilia.
2. Se abrirá la ventana emergente de añadir subfamilia de protocolo.

3. Debe cumplimentar las siguientes casillas: nombre, familia.
4. Debe verificar la información y hacer clic en guardar.
5. Observará que inmediatamente se ha añadido la subfamilia a la estructura jerárquica dentro de la familia seleccionada.

Para **añadir equipo genérico** debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en añadir equipo genérico.
2. Se abrirá la ventana emergente de añadir equipo genérico de protocolo.
3. Debe cumplimentar las siguientes casillas: nombre, subfamilia.
4. Debe verificar la información y hacer clic en guardar.
5. Observará que inmediatamente se ha añadido el equipo genérico a la estructura jerárquica dentro de la subfamilia seleccionada.

Para **copiar equipo genérico seleccionado** debe seguir los siguientes pasos:

1. Seleccione un equipo genérico de la lista de protocolos de mantenimiento.
2. Puede verificar el ítem seleccionado, en el espacio reservado para dicha información (antes de los últimos botones), en donde se indica: selección actual.
3. Hacer clic en copiar equipo genérico seleccionado.
4. Se abrirá la ventana emergente de copiar equipo genérico de protocolo.
5. Puede mantener o editar la información de las siguientes casillas: nombre, subfamilia.
6. Debe verificar la información y hacer clic en guardar.
7. Puede verificar que todas las copias de equipos genéricos se han incluido correctamente a través de la ventana: protocolo de mantenimiento.

Para **añadir, editar y borrar tarea**: Las tareas de mantenimiento son la base de un plan de mantenimiento y por ello deben estar asociadas a cada equipo genérico. Al establecer cada tarea deben incluirse principalmente lo que se va a realizar (tarea), cada cuanto hay que hacerlo (frecuencia), y un estimado de cuánto tiempo se tarda en hacer la tarea (tiempo). En esta sección Renovefree 6.0 dispone de 3 botones que le permiten crear, editar y borrar las tareas de mantenimiento asociadas al equipo genérico, según sea las necesidades del equipo y de su mantenimiento, por lo tanto, previamente deben haberse incluido dichos equipos. Debe seguir los siguientes pasos para añadir tarea:

1. Seleccionar el equipo genérico en la lista de protocolos de mantenimiento.
2. Puede verificar el ítem seleccionado, en el espacio reservado para dicha información (antes de los últimos botones) , en donde se indica: selección actual.
3. Hacer clic en añadir tarea.
4. Se abrirá una ventana con el formulario de la tarea de protocolo.
5. Debe cumplimentar las siguientes casillas referentes a cada una de las tareas: tipo de tarea, tarea, tiempo estimado, frecuencia, especialidad, familia, subfamilia y equipo genérico.
6. Debe verificar la información y hacer clic en guardar.

Para **asignar protocolo de mantenimiento** debe seguir los siguientes pasos:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta equipos.
2. Buscar en el submenú desplegado la etiqueta estructura jerárquica por función.
3. Se abrirá la ventana de estructura jerárquica.
4. Seleccionar un sistema, un subsistema, o un equipo en la estructura jerárquica.

5. Puede verificar el ítem seleccionado, en el espacio reservado para dicha información, en donde se indica: selección actual, código, nombre.
6. Hacer clic en ir o editar selección.
7. Se abrirá una ventana con el formulario del ítem seleccionado.
8. Asignar el protocolo de mantenimiento, es decir, asignar: familia, subfamilia y equipo genérico haciendo clic en sus respectivas listas desplegables.
9. Hacer clic en guardar cambios.
10. Haciendo clic en la pestaña mantenimiento programado encontraras las tareas de mantenimiento incluidas automáticamente al asignar el protocolo.

ELABORAR PLAN DE MANTENIMIENTO

Una vez completado el protocolo de mantenimiento, se elabora el plan de mantenimiento que no es más que, agrupar las tareas que tienen un elemento común en **gamas de mantenimiento**. Antes de elaborar el plan de mantenimiento es necesario indicar como se van agrupar las tareas de mantenimiento de las gamas. Una vez generado el plan de mantenimiento, si quiere, puede exportarlo en formato *.CSV que le permitirá abrirlo como un block de notas o como un archivo excel.

Para **elaborar el plan de mantenimiento** debe seguir los siguientes pasos:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta plan de mantenimiento.
2. Buscar en el menú desplegado la etiqueta elaborar plan de mantenimiento.
3. Se abrirá la ventana de elaborar plan de mantenimiento.



Figura 44. Ventana elaborar plan de mantenimiento

Elaboración: El autor

Para **crear plan de mantenimiento** debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en crear plan de mantenimiento.
2. Debe introducir la contraseña de usuario en la ventana emergente ejecutar plan de mantenimiento.
3. Debe esperar unos minutos mientras se genera el plan, que dependiendo del número de equipos genéricos incluidos tardará entre 5 y 15 minutos.
4. Las gamas generadas y sus tareas asociadas se visualizan en sus respectivas listas. Asimismo, se da un resumen del número de gamas obtenidas y el número de tareas del plan de mantenimiento.

Para **añadir gama** debe seguir los siguientes pasos:

1. Hacer clic en añadir gama.
2. Se abrirá la ventana emergente añadir nueva gama.
3. Debe cumplimentar las siguientes casillas: seleccionar gama por, gama, frecuencia, especialidad, fecha de inicio.
4. Verificar la información y hacer clic en guardar.

Para **cargar trabajo por especialidad**: En Renovefree 6.0 también se puede mostrar la carga de trabajo que ha generado una gama en el plan

de mantenimiento. Muestra la especialidad en la que se clasifica esta gama y el número de horas de duración. Además, se puede añadir, editar y borrar las tareas de mantenimiento desde esta pestaña. Se podrá exportar tabla en formato .CSV con los datos de la carga de trabajo por especialidad.

GENERAR O.T.'S PREVENTIVAS

Antes de generar las ordenes de trabajo (O.T.'s) preventivas debo primero programar el plan de mantenimiento para que se ejecute de forma manual. Una vez incluidos el protocolo de mantenimiento se deben importar las gamas de mantenimiento que deben realizarse a los elementos mantenibles del centro, en un determinado periodo de tiempo. Finalmente, el usuario tiene la posibilidad de generar algunas o todas las O.T.'s preventivas que se deben efectuar durante el periodo de tiempo indicado.

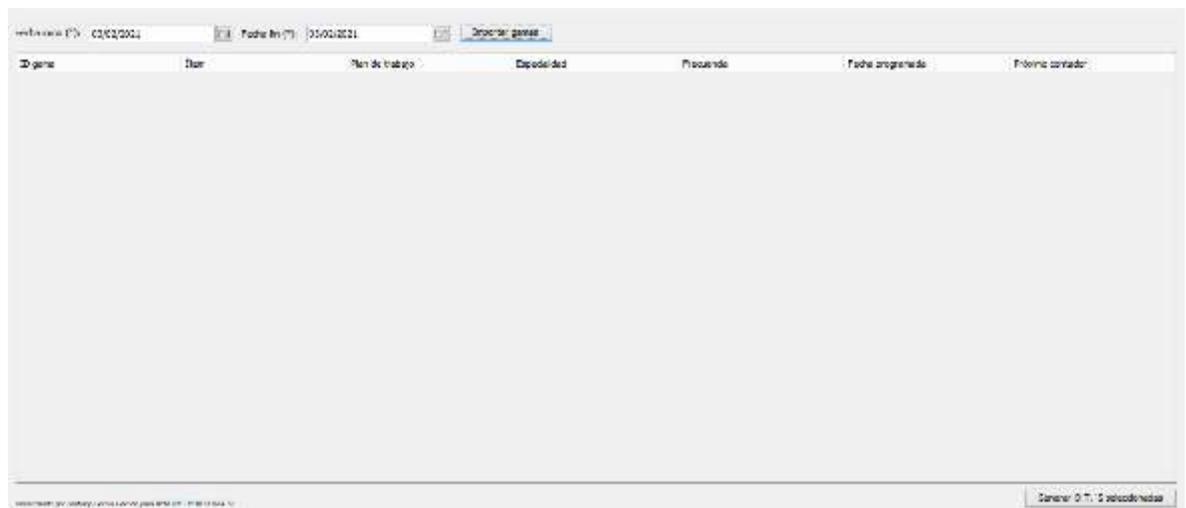


Figura 45. Ventana generar O.T.'S preventivas

Elaboración: El autor

GESTIÓN DE O.T.'S

Para **Gestionar las O.T.'S** se debe seguir los siguientes pasos:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta Gestión O.T.
2. Buscar en el menú desplegado la etiqueta Mis O.T. pendientes.
3. Se abrirá la ventana de CONSULTAR ORDENES DE TRABAJO DE UN TÉCNICO.

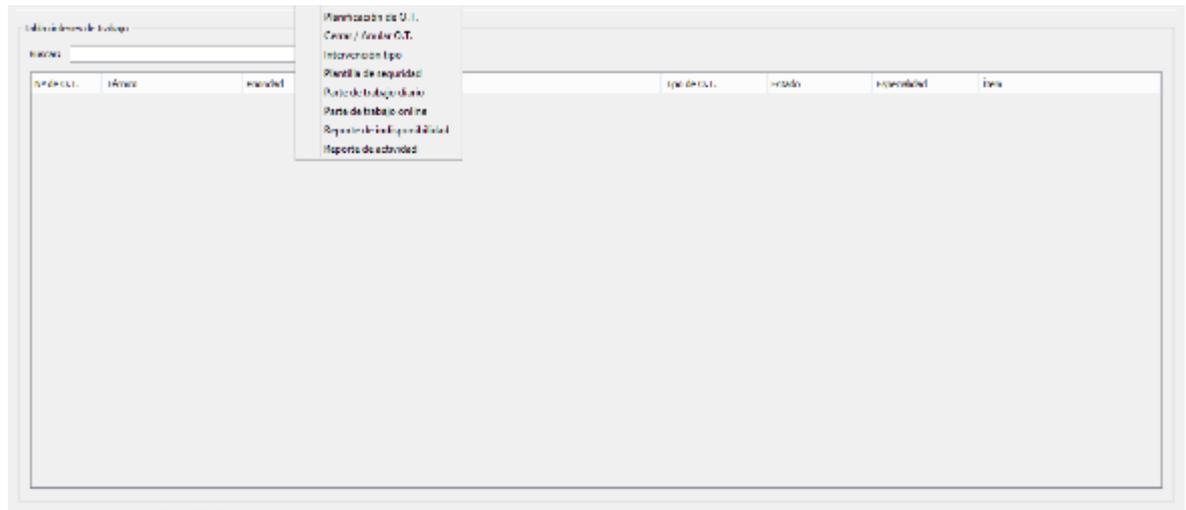


Figura 46. Ventana gestión O.T. 'S

Elaboración: El autor

Para **crear nueva O.T.** se debe seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionar área, proyecto, prioridad, tipo de O.T. y especialidad.
2. Agregar fecha y condiciones para la realización.
3. Hacer clic en guardar.
4. Deberá esperar unos minutos mientras se generan.
5. Puede ver cómo han quedado las O.T.'S generadas, para ello tiene las opciones: consultar O.T., planificación de O.T. y cerrar /anular O.T.

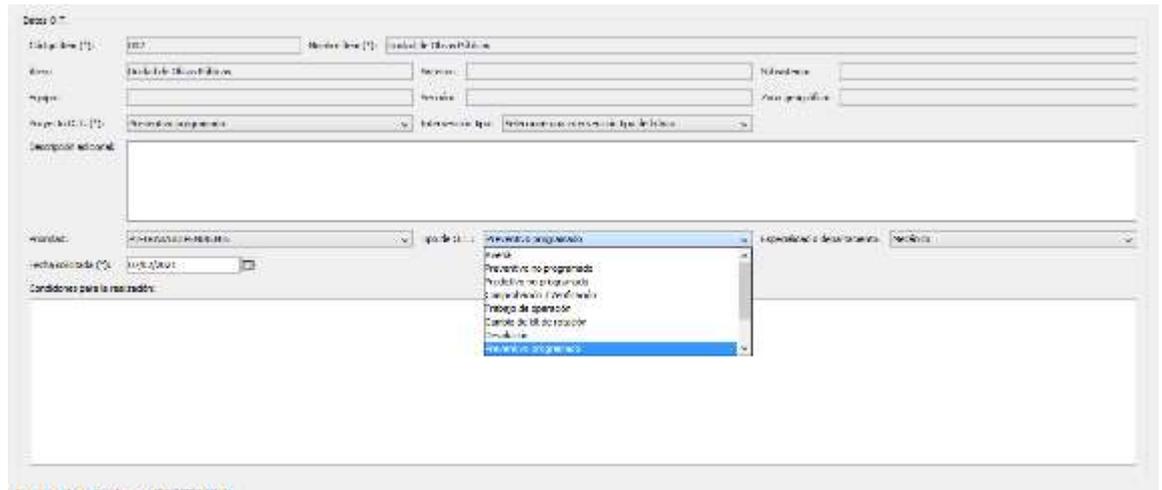


Figura 47. Ventana crear nueva O.T.

Elaboración: El autor

5. Módulo Compras, Proveedores, Almacenes y Repuestos

PROVEEDORES

Con Renovefree 6.0 puede gestionar los proveedores haciendo clic en la etiqueta Proveedores ubicada en el menú principal. Para crear un nuevo proveedor debe seguir la siguiente ruta:

1. Hacer clic en la etiqueta proveedores
2. Seleccionar la etiqueta nuevo proveedor
3. Se abrirá la ventana para incluir los datos de proveedor y contacto, incluir los datos del producto y servicio, verificar y guardar.
4. Desde la ventana nuevo proveedor, debe hacer clic en nuevo y automáticamente todos los campos del formulario se habilitarán.
5. Cumplimentar los siguientes campos correspondientes a los datos de proveedor: referencia del proveedor, nombre comercial, nombre fiscal, RUC, dirección, teléfono, correo electrónico y pagina web.
6. Cumplimentar los siguientes campos correspondientes a los datos de contacto: persona de contacto, correo electrónico y celular.
7. Cumplimentar los siguientes campos correspondientes a los datos del producto/servicio.

8. Una vez cumplimentada toda la información requerida debe:
verificarla y hacer clic en guardar.

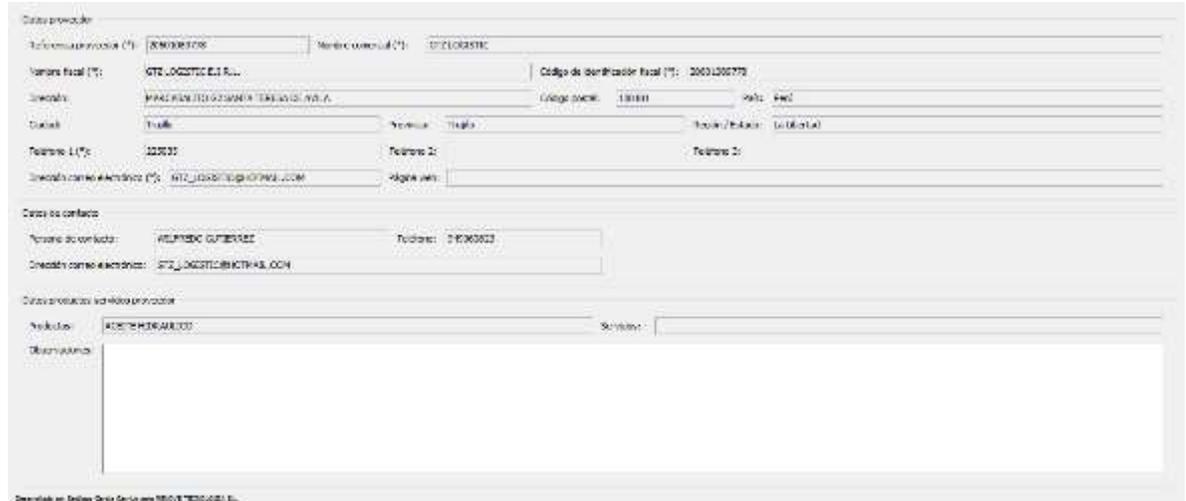


Figura 48. Ventana de nuevo proveedor

Elaboración: El autor

ARTÍCULOS DE REPUESTO:

Con Renovefree 6.0 puede gestionar los artículos de repuesto haciendo clic en la etiqueta Almacenes y Repuestos ubicada en el menú principal.

Para nuevo artículo de repuesto:

1. Hacer clic en la etiqueta almacenes y repuestos
2. Hacer clic en submenú desplegable Artículos.
3. Se abrirá su ventana principal Artículos.
4. Debe hacer clic en Nuevo y automáticamente todos los campos del formulario se habilitarán.
5. Cumplimentar los siguientes campos: Referencia del repuesto, nombre del repuesto o material, familia q pertenece dicho repuesto, subfamilia que pertenece dicho repuesto, stock mínimo recomendado.
6. Una vez cumplimentada toda la información requerida debe:
verificarla y hacer clic en guardar.

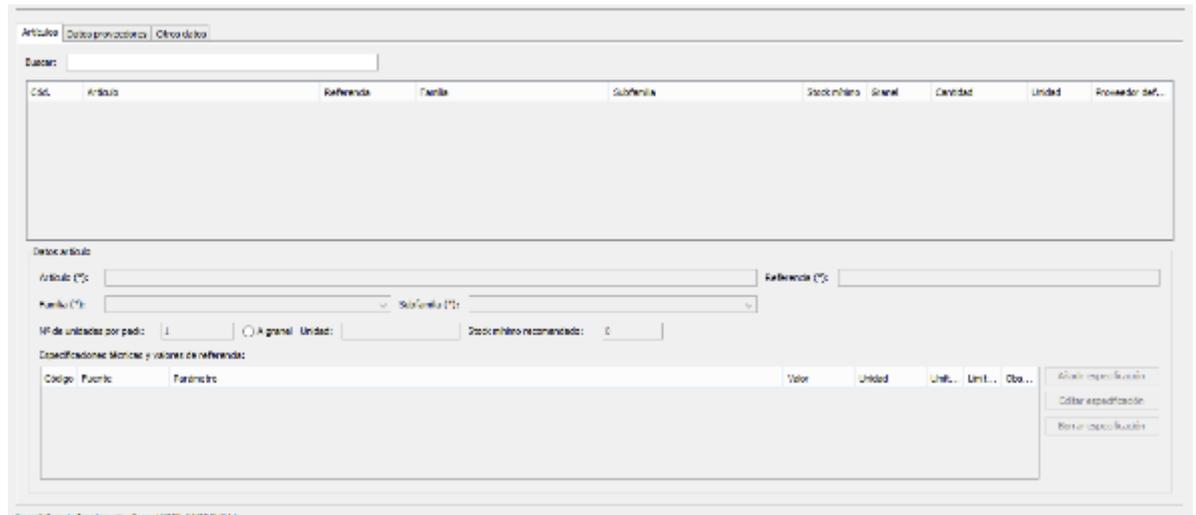


Figura 49. Ventana nuevo artículo de repuesto

Elaboración: El autor

ALMACENES

Con Renovefree 6.0 puede gestionar los almacenes haciendo clic en la etiqueta Almacenes y Repuestos ubicada en el menú principal. La estructura jerárquica de almacenes es una herramienta muy útil en la gestión de almacenes, ya que permite ver y gestionar los almacenes, zona de almacén y estantería.

Para dar de **alta almacenes**, solo debe seguir los siguientes pasos:

1. En el menú principal hacer clic en la etiqueta Almacenes y Repuestos.
2. Hacer clic en la estructura jerárquica de almacenes.
3. Se abrirá su ventana principal estructura jerárquica de almacenes
4. Hacer clic en añadir almacén.
5. Se abrirá su ventana principal Almacén puede crear, editar y borrar un almacén.

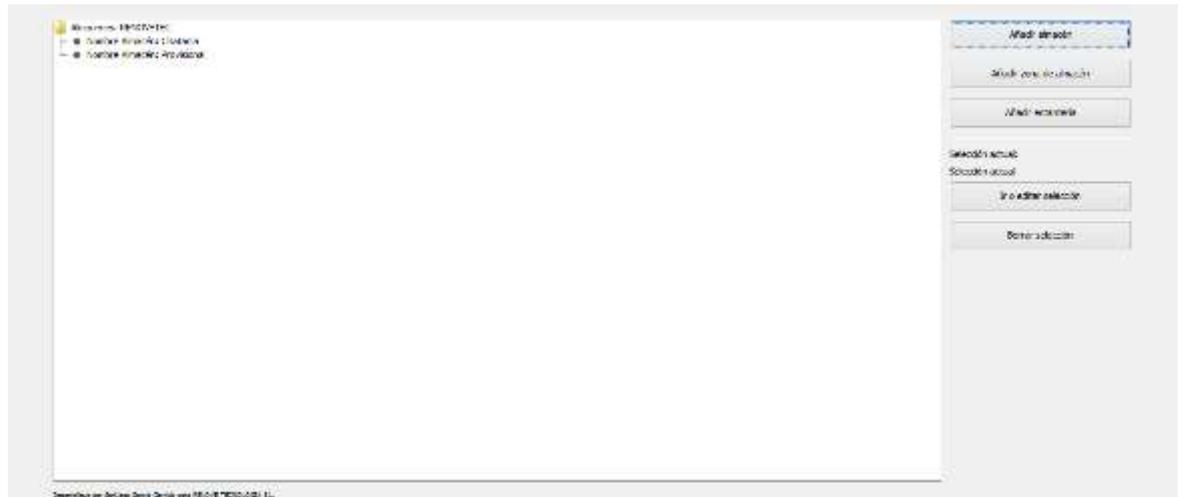


Figura 50. Ventana añadir almacén

Elaboración: El autor

Para **stock de artículos**: Con Renovfree 6.0 es muy sencillo consultar el Stock artículos, solo debe seguir la siguiente ruta:

1. En el menú principal de Renovfree 6.0 hacer clic en la etiqueta Almacenes y Repuestos.
2. Hacer clic en la etiqueta Entrada, Salida, Identificación e Histórico de artículos.
3. Hacer clic en la etiqueta Stock artículos.
4. Hacer clic en la etiqueta Stock artículos.
5. Por defecto el listado de stock de artículos se mostrará completamente vacío hasta que establezcamos un filtro (familias o ubicación) y hagamos clic en filtrar. O si quisiéramos observar todo, únicamente bastaría con pulsar INTRO en el apartado de BUSCAR.
6. También puede simplificar su búsqueda del stock del artículo deseado, al introducir su nombre en el apartado BUSCAR y pulsando INTRO.
7. Y la otra opción es MOSTRAR ROTURA DE STOCK existente de todos los artículos de la instalación.

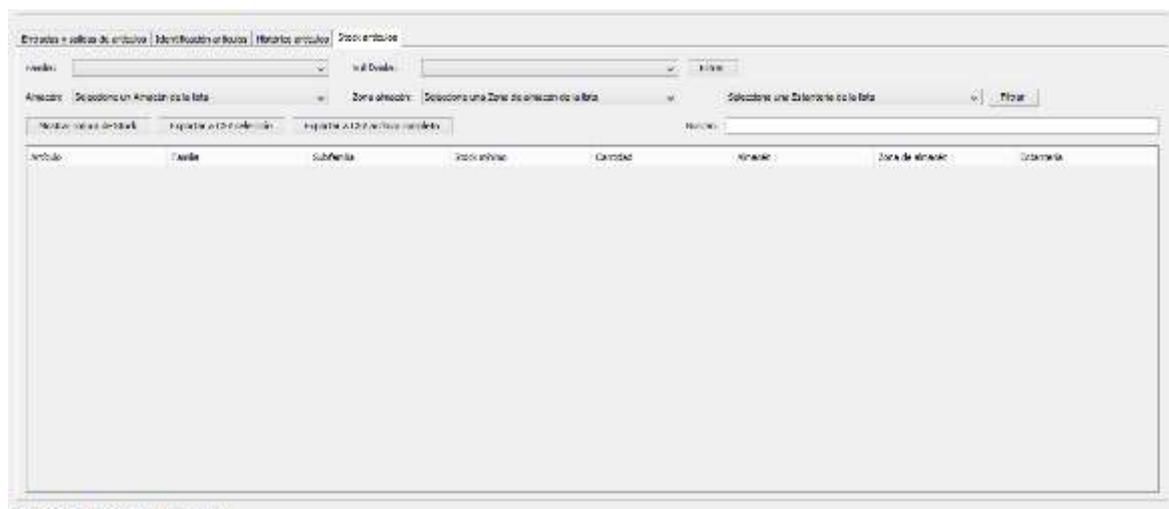


Figura 51. Ventana stock de artículos

Elaboración: El autor

Para **inventario de almacén**: Con Renovefree 6.0 es muy sencillo consultar los movimientos de almacén, solo debe seguir la siguiente ruta:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta Almacenes y Repuestos.
2. Buscar en el submenú desplegado la etiqueta Inventarios de almacén.
3. Se abrirá su ventana principal Inventario de almacén, donde se encuentran el listado de artículos y todos sus movimientos.
4. Por defecto se aparecerá la lista completamente vacía, se mostrarán por fecha de inicio y fin con sus respectivos calendarios. Únicamente introducir fechas.
5. Hacer clic en MOSTRAR.



Figura 52. Ventana lista de inventario

Elaboración: El autor

COMPRAS

Una vez definido los proveedores, los almacenes y artículos de repuesto, se deben realizar una Compra, para ello se debe crear un Pedido. Existen dos tipos de pedidos, unos que van destinados a almacén y pedidos destinados directamente a una orden de trabajo, con esta última opción Renovefree 6.0 evita llevar los componentes del pedido primero a almacén y luego tener que sacarlos para asignarlos a una orden de trabajo. Pero, además, en este apartado de compras, también existe la opción Solicitud de servicio. Desde el menú principal de Renovefree 6.0 puede acceder a la gestión de compras con un clic en la etiqueta COMPRAS.

Para **crear pedidos**, solo debe seguir la siguiente ruta:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta Compras.
2. Buscar en el submenú desplegado la etiqueta Pedido artículos.
3. Se abrirá su ventana principal Artículos.
4. Desde esta pestaña de Datos pedido trabajaremos: seleccionar nuevo pedido, seleccionar el tipo de cargo, añadir el número de albarán,

añadir número de cuenta, seleccionar un proveedor, generar número de pedido y guardar, asignar documentos asociados.

5. Desde esta ventana, debe hacer clic en NUEVO y automáticamente los datos de pedido se habilitarán.
6. Cumplimentar los siguientes campos correspondientes a datos del pedido: fecha de pedido, con cargo a almacén u orden de trabajo, proveedor.
7. Verificar la información, y hacer clic en generar número de pedido y guardar.
8. Una vez guardado el pedido, podemos proceder a Añadir documentos asociados.
9. Después de haber generado el pedido automáticamente, ahora es cuando en el campo N° de pedido, procedemos a hacer doble clic y seleccionamos un pedido de la lista de la ventana emergente.
10. Se cargará toda la información relacionada con el pedido.
11. Puede generar un archivo PDF con todos los datos del pedido haciendo clic en PDF pedido.
12. Estado de pedido: podemos dar autorización del pedido únicamente si somos usuarios autorizados para compras.
13. Es ahora cuando podríamos completar este campo de Estado de pedido, al darle autorización. El programa nos pedirá la contraseña de usuario para continuar.
14. Una vez autorizado, saldrá una frase de (Pendiente de envío a proveedor), pues debemos completar los campos de Envío a proveedor y de Persona de contacto.
15. Hacer clic en Enviar a proveedor.
16. Una vez Enviado a proveedor debe seleccionar Sí, observe que el pedido a cambiado de estado a: pendiente de recepción (en plazo).
17. Seleccionar las siguientes fechas que permiten seguir el curso del pedido: fecha autorización, fecha envío pedido, fecha prevista de entrega, fecha de reclamación, nueva fecha de entrega).

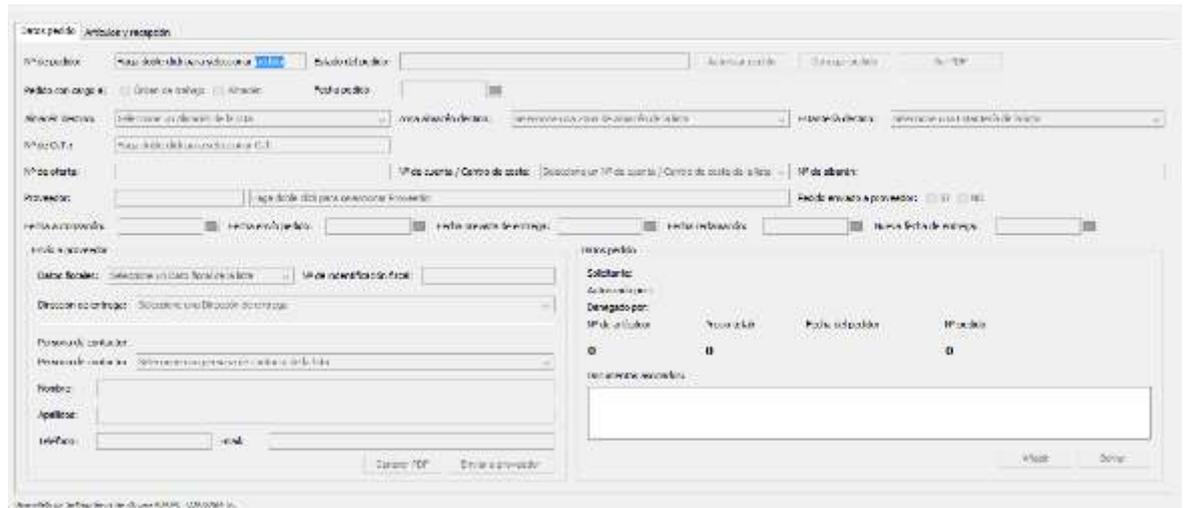


Figura 53. Ventana nuevo pedido

Elaboración: El autor

Para **solicitud de servicios**, solo debe seguir la siguiente ruta:

1. En el menú principal de Renovefree 6.0 hacer clic en la etiqueta Compras.
2. Buscar en el submenú desplegado la etiqueta Solicitud de servicios.
3. Se abrirá su ventana principal Solicitud servicio.
4. Desde esta pestaña de datos solicitud trabajaremos: seleccionar nueva solicitud, seleccionar la orden de trabajo, añadir el número de albarán, añadir el número de cuenta, seleccionar un proveedor, generar número de solicitud y guardar, asignar documentos asociados.
5. Desde esta ventana debe hacer clic en Nueva solicitud y automáticamente los datos de la solicitud se habilitarán.
6. Cumplimentar los siguientes campos correspondientes a los datos solicitud: fecha solicitud, N° de O.T., proveedor)
7. Verificar la información y hacer clic en generar número de solicitud y guardar.
8. Una vez guardada la solicitud, podemos proceder a Añadir documentos asociados.
9. Después de haber generado la solicitud de servicio automáticamente, ahora es cuando en el campo N° de solicitud,

procedemos a hacer doble clic y seleccionamos una de la lista de la ventana emergente.

10. Se cargará toda la información relacionada con el servicio.
11. Puede generar un archivo PDF con todos los datos del servicio haciendo clic en Ver pdf.
12. Estado de la solicitud: podremos dar autorización del servicio únicamente si somos usuarios autorizados para ello.
13. Es ahora cuando podríamos completar este campo Estado de la solicitud, al darle autorización. El programa nos pedirá la contraseña de usuario para continuar.
14. Una vez autorizado, saldrá una frase de (pendiente de envío a proveedor), pues debemos completar los campos de envío a proveedor y de persona de contacto.
15. Hacer clic en enviar a proveedor.
16. Una vez enviado a proveedor, en el campo solicitud enviada a proveedor debe seleccionar Sí y clic en Guardar solicitud. Observe que el estado de la solicitud a cambiado a: Pendiente de recepción (en plazo).
17. Seleccionar las siguientes fechas que permiten seguir el curso de la solicitud de servicio: fecha autorización, fecha envió solicitud, fecha prevista de entrega, fecha de reclamación, nueva fecha de entrega).

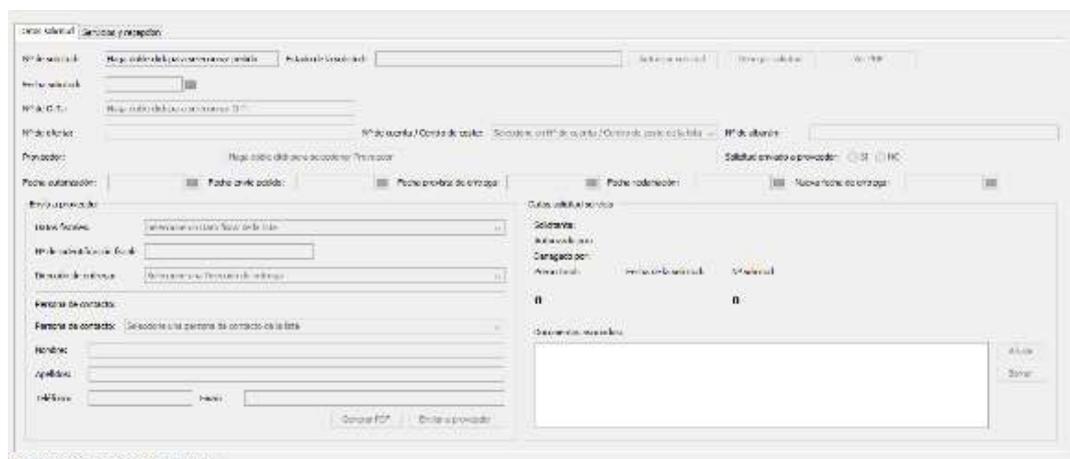


Figura 54. Ventana solicitud de servicios

Elaboración: El autor

2.4.2. Desarrollo del Plan de Capacitación

La planeación de la capacitación, determina el objetivo del plan, la metodología a utilizar, los recursos necesarios para su desarrollo y todos los elementos complementarios que puedan favorecer el proceso.

2.4.2.1. Funciones identificadas del personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

Revisando el Manual de Organización y Funciones de la entidad y entrevistando a especialistas en maquinaria pesada, podemos definir las siguientes funciones relacionadas a las especialidades mecánica y eléctrica realizadas por los trabajadores de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción.

Tabla 81

Funciones de los colaboradores de la Unidad de Maquinaria y Equipos

FUNCIÓN	TAREA	ESPECIALIDAD
Proveer mantenimiento a componentes eléctricos y electrónicos	Interpretar diagramas eléctricos y electrónicos básicos	Eléctrica
	Instalar circuitos básicos de iluminación y fuerza	Eléctrica
	Realizar mantenimiento básico a circuitos eléctricos y electrónicos	Eléctrica
	Realizar mantenimiento básico a motores eléctricos	Eléctrica
	Realizar mantenimiento básico a generadores y transformadores eléctricos	Eléctrica
Diagnosticar fallas en maquinaria pesada	Diagnosticar fallas analizando vibraciones	Mecánica
	Diagnosticar fallas analizando ruidos	Mecánica
	Diagnosticar fallas analizando variaciones en la temperatura	Mecánica
Lubricar y engrasar	Inspeccionar fracturas en la maquinaria pesada	Mecánica
	Clasificar grasas y aceites	Mecánica
	Lubricar puntos móviles	Mecánica

maquinaria pesada	Detectar y eliminar fugas	Mecánica
	Ciclo de vida y tiempos de trabajo	Mecánica
Planificar y programar mantenimientos de maquinaria pesada	Criticidad de equipos	Mecánica
	Principios y técnicas de planificación	Mecánica
	Programación de mantenimiento	Mecánica
	Gestión de los recursos	Mecánica

Elaboración: El autor

2.4.2.2. Objetivo del Plan de Capacitación

Complementar o desarrollar las competencias necesarias para alcanzar las requeridas para desempeñar eficientemente las funciones del puesto de trabajo y contribuir a la mejorara de la gestión de mantenimiento.

2.4.2.3. Metodología del Plan de Capacitación

La metodología a utilizar para desarrollar el Plan de Capacitación es el siguiente:

- a. Se realizará la capacitación in-house en aquellas acciones relacionadas con las actividades y competencias específicas del puesto de trabajo, considerando que la maquinaria pesada, equipo, materiales o herramientas utilizadas son de uso específico. Para ello se identificarán dentro del grupo técnico aquellos considerados de mayor experiencia y conocimientos, para que realicen las acciones de capacitación de aquellos que presentan brechas en estas áreas.
- b. Se realizará la capacitación fuera de jornada de trabajo en aquellas áreas de tipo general que no requiere un desarrollo práctico específico, para esto se recomienda la contratación de servicios de capacitación a empresas o instituciones especialistas dedicadas a estas actividades. Es necesario que en el grupo encargado de entrenamiento participen algunos jefes, sobre todo en las actividades de planeación y

programación de las acciones a desarrollar, ya que la asignación de recursos materiales y tiempo deben establecerse considerando no afectar el normal funcionamiento del sistema de la empresa, es de mucha importancia determinar el grado de responsabilidad entre las diferentes líneas de mando para asegurar el cumplimiento y éxito del programa.

2.4.2.4. Diseño del Plan de Capacitación

Analizando la información proporcionada por el Plan de Mantenimiento Preventivo se propone realizar capacitaciones bajo los siguientes lineamientos:

- a. Controlar condiciones de operación de la maquinaria pesada utilizando instrumentos de medición, de acuerdo a las especificaciones técnicas, parámetros de calidad y medidas de seguridad
- b. Instalar y proveer mantenimiento básico a sistemas eléctricos y electrónicos de maquinaria pesada, de acuerdo a diagramas de instalación, especificaciones técnicas de fabricantes, parámetros de calidad establecidos, medidas de seguridad y de protección ambiental.
- c. Proveer mantenimiento a elementos mecánicos de máquinas y equipos de tipo industrial, de acuerdo a especificaciones técnicas y a medidas de seguridad y protección ambiental.

Tabla 82

Contenidos temáticos para el Plan de Capacitación propuesto

CURSO	CONTENIDO TEMÁTICO
1. Mantenimiento de sistemas eléctricos y electrónicos	1.1. Sistema de carga
	1.2. Principios eléctricos
	1.3. Sistema de arranque
	1.4. Sistema de luces
	1.5. Sistema de monitoreo

	2.1. Metodología de diagnóstico del equipo pesado
	2.2. Diagnóstico del sistema eléctrico y electrónico del equipo pesado
	2.3. Diagnóstico del sistema hidráulico del equipo pesado
	2.4. Diagnóstico del motor diésel
2. Diagnóstico de sistemas del equipo pesado	2.5. Diagnóstico del tren de fuerza
	2.6. Engranajes en maquinaria
	2.7. Equipo utilizado en el diagnóstico por vibraciones
	2.8. Diagnóstico de fallas analizando vibraciones
	2.9. Diagnóstico de fallas por variación de temperatura
	2.10. Equipo utilizado en el control de variaciones de temperatura

	3.1. Estrategia de mantenimiento y lubricación
	3.2. Lubricantes
3. Lubricación de maquinaria	3.3. Selección y aplicación de lubricación
	3.4. Mantenimiento preventivo y control de condición
	3.5. Almacenamiento y administración

	4.1. Ingeniería de mantenimiento
	4.2. Tipos de mantenimiento
	4.3. Ciclo de vida de la maquinaria pesada
	4.4. Requisitos de mantenimiento de la maquinaria pesada
4. Planificación y programación de mantenimiento de maquinaria pesada	4.5. Tareas típicas de mantenimiento
	4.6. Sistema de criticidad para la maquinaria
	4.7. Auditoria de mantenimiento
	4.8. Planificación del mantenimiento
	4.9. Programación del mantenimiento
	4.10. Principales indicadores de mantenimiento
	4.11. Confiabilidad y mantenibilidad

Elaboración: El autor

Tabla 83

Cronograma para el Plan de Capacitación propuesto

CURSO	MES												EXPOSITOR	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
1. Mantenimiento de sistemas eléctricos y electrónicos		■	■											Tecsup
2. Diagnóstico de sistemas de equipo pesado				■	■									Tecsup
3. Lubricación de maquinaria industrial						■	■							Tecsup
4. Planificación y programación de mantenimiento de la maquinaria pesada								■						Tecsup

Elaboración: El autor

2.4.3. Desarrollo del Plan de Implementación 5S

Nos encontramos con espacios físicos de trabajo muy saturados, en donde conviven, equipos, archivos de documentos, estanterías con material obsoleto o que se utiliza poco, con gran cantidad de materiales, herramientas, suministros.

2.4.3.1. Implementación de SEIRI (Clasificar)

Entre los beneficios a lograr con la implementación de SEIRI se encuentran:

- Se mejora el control visual de los elementos de trabajo.
- La calidad del mantenimiento se mejora ya que los controles visuales ayudan a prevenir los defectos.
- Es más fácil identificar las áreas o sitios de trabajo con riesgo potencial de accidente laboral.
- El personal del área puede mejorar la productividad en el uso del tiempo.

En esta etapa el trabajador debe eliminar del área de trabajo todos los elementos que no se requieren para realizar nuestra labor, para lo cual necesitamos:

1. Separar las cosas que realmente sirven de las que no sirven.
2. Clasificar lo necesario de lo innecesario para el trabajo rutinario.
3. Mantener lo que no necesitamos y eliminar lo excesivo.

En la práctica, para distinguir aquello que realmente no se requiere en el área de trabajo, es necesario identificarlo, clasificarlo y determinar su disposición final (donar, transferir, vender), para lo cual utilizaremos el formato de tarjeta roja, que permite marcar si en el área de trabajo existe algo contaminante, defectuoso, innecesario, de uso desconocido u otros, a fin de tomar acción correctiva. Una vez marcados todos los elementos: categoría, razón y disposición, se procede a registrar cada tarjeta roja utilizada en la lista de control de tarjetas roja, esta lista permite posteriormente realizar un seguimiento sobre todos los artículos innecesarios.

CLASIFICACIÓN	
TARJETA ROJA	
NOMBRE DEL MATERIAL	
Envase plástico de refrigerante	
FECHA	N° DE TARJETA
21/03/2021	48
REPORTANTE	
Jhoan Cárdenas Sotero	
CATEGORÍA	
1.- Accesorios o herramientas <input type="checkbox"/>	
2.- Baldes o recipientes <input checked="" type="checkbox"/>	
3.- Equipo de oficina <input type="checkbox"/>	
4.- Instrumento <input type="checkbox"/>	
5.- Utiles de escritorio <input type="checkbox"/>	
6.- Máquina <input type="checkbox"/>	
7.- Otros:	
CANTIDAD	ÁREA
2	Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción
RAZÓN	
1.- Contaminante <input type="checkbox"/>	
2.- Defectuoso <input type="checkbox"/>	
3.- Descompuesto <input type="checkbox"/>	
4.- Innecesario <input checked="" type="checkbox"/>	
5.- Uso desconocido <input type="checkbox"/>	
6.- Otros:	
DISPOSICIÓN	
1.- Donar <input type="checkbox"/>	
2.- Transferir <input checked="" type="checkbox"/>	
3.- Vender <input type="checkbox"/>	
4.- Otros:	
ACCIÓN TOMADA	
CARGO	FIRMA DEL RESPONSABLE
Jefe Unidad de Maquinaria	

Figura 55. Formato tarjeta roja 5S

Elaboración: El autor

CONTROL DE TARJETAS ROJA

INGRESO/ SALIDA	N° TARJETA	FECHA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	NOMBRE DEL REPORTANTE	CATEGORÍA	RAZÓN	DISPOSICIÓN	FECHA DISPOSICIÓN	ÁREA	NOMBRE RESPONSABLE
Salida	48	21/03/2021	Envase plástico de refrigerante	2	Jhoan Cárdenas Sotero	2	4	2	01/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	49	21/03/2021	Botes de aerosol	3	Jhoan Cárdenas Sotero	2	4	3	02/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	50	21/03/2021	Llantas	8	Lesley Rodríguez Sanchez	1	2	1	03/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	51	21/03/2021	Filtros	4	Carlos Enríquez Castillo	1	2	3	03/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	52	22/03/2021	Pistola de pintura	2	Carlos Enríquez Castillo	1	2	2	04/02/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	53	22/03/2021	Compresora	2	Carlos Enríquez Castillo	6	4	2	05/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	54	22/03/2021	Aceite de motor	2	Hugo Urqueaga Alvarado	7	1	4	05/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	55	22/03/2021	Uñas de cucharón	3	Hugo Urqueaga Alvarado	2	2	4	06/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	56	21/03/2021	Baterías	2	Oscar Caballero Villegas	1	1	4	06/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen
Salida	57	21/03/2021	Asiento	1	Oscar Caballero Villegas	2	2	4	06/04/2021	Unidad de Maquinaria	Yonel Villacorta Niquen

LEYENDA:

CATEGORÍA

RAZÓN

DISPOSICIÓN

- 1 Accesorios o herramientas
- 2 Baldes o recipientes
- 3 Equipo de oficina
- 4 Instrumento
- 5 Útiles de escritorio
- 6 Máquina
- 7 Otros

- 1 Contaminante
- 2 Defectuoso
- 3 Descompuesto
- 4 Innecesario
- 5 Uso desconocido
- 6 Otros

- 1 Donar
- 2 Transferir
- 3 Vender
- 4 Otros

Figura 56. Formato control tarjetas roja 5S

Elaboración: El autor



Figura 57. Recipientes y envases de plástico clasificados

Elaboración: El autor

2.4.3.2. Implementación de SEITON (Ordenar)

Entre los beneficios a lograr con la implementación de SEITON se encuentran:

- Agudiza el sentido de orden a través de la marcación y utilización de ayudas visuales.
- Elimina riesgos potenciales de accidentes de personal.
- El aseo y limpieza se pueden realizar con mayor facilidad y seguridad.
- Se mejora la información en el sitio de trabajo para evitar errores y acciones de riesgo potencial.

Consiste en organizar los elementos que hemos clasificado como necesarios, definiendo el lugar donde se deben ubicar aquellos que necesitamos con frecuencia, identificándolos para eliminar el tiempo de búsqueda y facilitar su retorno al sitio una vez utilizados, para lo cual utilizaremos ayudas visuales.

Ayudas visuales:

1. Donde ubicar la maquinaria pesada.
2. Donde ubicar herramientas y materiales.

3. Donde ubicar repuestos y suministros.
4. Donde y cuando realizar el mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada.
5. Donde ubicar los útiles de aseo y limpieza.
6. Donde ubicar residuos clasificados.
7. Donde ubicar conexiones eléctricas.
8. Donde ubicar conexiones sanitarias.
9. Donde ubicar EPP.



Figura 58. Ordenamiento de herramientas y llantas

Elaboración: El autor

2.4.3.3. Implementación de SEISO (Limpiar)

Entre los beneficios a lograr con la implementación de SEISO se encuentran:

- Reduce el riesgo potencial de que se produzcan accidentes.
- Mejora el bienestar físico y mental del trabajador
- Se incrementa la vida útil del equipo al evitar su deterioro por contaminación y suciedad.
- Las averías se pueden identificar más fácilmente e incluso prevenir.
- Se reducen los despilfarros de materiales y energía debido a la eliminación de fugas y escapes.

La limpieza ayuda en la prevención de accidentes y un taller está obligado a proporcionar todas las condiciones necesarias para garantizar tanto la salud de los trabajadores como la seguridad y el buen funcionamiento de sus equipos y herramientas, para lo cual elaboramos elementos de seguridad, EPP y consideraciones generales de seguridad. (Henkel, 2020)

A. Elementos de seguridad

1. El taller debe ser un entorno de apto para el desempeño del trabajador y para ello está obligado a ofrecer determinadas condiciones de temperatura, humedad y luminosidad:
 - La temperatura del taller mecánico, debe mantenerse entre los 17° y 27°.
 - La humedad debe estar entre el 30° y el 70%.
 - Las condiciones de luminosidad mínimas para la zona de reparación deben ser al menos de 500 lux, mientras que para la zona de pintura es obligatorio tener 1,000 lux. El lux es la medida que se usa para medir la intensidad de la iluminación.
2. Los productos químicos son productos que pueden ser perjudiciales para la salud o inflamables al contacto con otros productos, por lo que para su manipulación hay que tener en cuenta lo siguiente:
 - Siempre deben ser usados por alguien que conozca los distintos tipos de productos químicos que puede haber en un taller. Estos se dividen en 9 clases: gas a presión, explosivos, corrosivos comburentes, irritantes, inflamables, cancerígenos, tóxicos y peligrosos para el medio ambiente.
 - Los residuos han de estar correctamente almacenados, para ello es necesario tener un inventario con todos los productos tóxicos y conocer sus entradas y salidas del almacén. Asimismo, es necesario separar los productos peligrosos en diferentes zonas del almacén y tener un control sobre dónde está cada producto. Todo ello con el fin de minimizar riesgos de fugas o incendios y para detectar el origen del problema con mayor rapidez en caso de que se produzcan.

3. Para garantizar la seguridad en el trabajo y que cada trabajador disponga del equipo y las herramientas necesarias para realizar su labor específica, es necesario distribuir el taller según las áreas de trabajo. De esta manera se evita que los profesionales se estorben entre sí, se confunda al usar alguna herramienta o sufran algún accidente inesperado.
4. Los talleres también deben cumplir con la señalización de los peligros y riesgos. Hay cuatro tipos de señalizaciones que son obligatorias dentro de un taller:
 - Las señales de advertencia, son señales triangulares con fondo amarillo y dibujo negro que advierten sobre la presencia de un peligro (radiación laser, material inflamable, etc.). También existen franjas de color amarillo y negro que se colocan en el suelo delimitando aquellas zonas en las que existe riesgo de caídas, choques y golpes.
 - Las señales de obligación, en este caso son señales redondas con el fondo azul y el pictograma en blanco. Indican aquella protección obligatoria para trabajar en determinada área del taller (vista, oído, cabeza, pies, manos, etc.).
 - Las señales de prohibición, son señales redondas con fondo blanco una banda roja en el contorno y una diagonal roja que las atraviesa (como las señales de prohibición de tráfico).
 - Las señales de prohibición de incendios, señalan el lugar donde se encuentra el extintor o la manguera de incendios. Son señales cuadradas con fondo rojo y el dibujo en blanco. (Henkel, 2020)

B. EPP

1. **Gafas de protección:** Son unas gafas transparentes que incluyen protecciones laborales para evitar el impacto de viruta en los ojos durante las operaciones de limpieza, lijado o esmerilado de metales.
2. **Mascara de protección:** Similar a las gafas, consiste en una careta transparente que además de los ojos, también protege el resto de la cara.

3. **Mascara de soldar:** Es indispensable para evitar daños en los ojos al soldar, provocados por las chispas y reflejo que se producen durante esta operación. Es un casco oscuro de una pieza que incorpora un visor transparente que pueden ser fijas o de mano.
4. **Mascarillas:** Son elementos que protegen las vías respiratorias durante las labores de lijado, pintura o enmascarado, y de los polvos, partículas o vapores que puedan producir.
5. **Auriculares protectores:** Indispensables para cumplir las exigencias relativas al ruido en el taller y proteger al sistema auditivo de los trabajadores. El máximo de decibeles permitidos en el taller es de 140 con cascos protectores y 87 sin cascos protectores.
6. **Guantes:** Indispensables para la protección de los trabajadores durante la soldadura, los trabajos de chorreado con pistola de arena, el uso de productos químicos o corrosivos y la manipulación de metales a altas temperaturas.
7. **Botas:** Son imprescindibles para minimizar los daños por caídas de piezas y disminuir los riesgos de sufrir resbalones o cortes en los pies. Deben ser de materiales resistentes como el cuero, impermeables y con buena transpiración. Lo ideal es que incorporen suelas antideslizantes y plantillas anti perforación.
8. **Bata de trabajo:** En este caso su principal función tiene más que ver con la limpieza e higiene que directamente con la salud, evitando que la ropa se ensucie al realizar las tareas.
9. **Casco de seguridad:** Imprescindible siempre que se trabaje en fosos, para evitar golpes en la cabeza provocados por la caída de piezas o herramientas de trabajo. (Henkel, 2020)

C. Consideraciones generales de seguridad

1. Las salidas y zonas de emergencia han de estar limpias y libres de obstáculos.
2. Para facilitar los procesos de limpieza del área es vital que haya contenedores o papeleras donde se puedan tirar los residuos

generados. Éstas deben estar identificadas y diferenciadas. Cada tipo de residuo se elimina de una forma distinta.

3. En relación con el punto anterior y en especial atención a la gestión de los residuos peligrosos, debemos instalar un sistema de retención del agua residual si limpiamos los vehículos y así separar el aceite antes de que se vierta al alcantarillado.
4. No sobrecargues las estanterías o lugares de almacenamiento del taller.
5. Diariamente al final de la jornada laboral, se deben revisar y limpiar todas las herramientas.
6. Si se vierte algún producto o líquido en el suelo, límpialo inmediatamente. El no hacerlo, puede provocar resbalones u otro tipo de accidentes.
7. Cada operador debe mantener limpio su puesto de trabajo para que no se acumule suciedad, polvo o restos de otro tipo que puedan entorpecer en el funcionamiento de la maquinaria pesada. (Henkel, 2020)



Figura 59. Pictogramas

Fuente: (Henkel, 2020)

La falta de higiene en el taller puede provocar la aparición de afecciones respiratorias a causa de la inhalación de gases y partículas, o problemas de piel al entrar en contacto con sustancias corrosivas, entre otros efectos. Para evitar riesgos para la salud se elaboró un manual de higiene y limpieza que será incluido dentro de sus actividades de los trabajadores.

Manual de higiene y limpieza:

1. No debe haber restos de suciedad, polvo o partículas en el área de trabajo, ni objetos tirados en el suelo o amontonados en un lugar inadecuado.
2. Tras terminar de usar una herramienta es indispensable guardarla limpia en el lugar que corresponde.
3. Todos los equipos deben estar en estado de conservación óptimo y esto incluye que el equipo debe estar siempre limpio para evitar que se mezclen sustancias o ensucien piezas, herramientas o maquinaria.
4. El arrastre de la suciedad con escoba, mopa o equipo mecánico debe ser una tarea como mínimo de periodicidad diaria en la limpieza del área, recogiendo además de forma parcial la suciedad generada en cada momento, como puede ser restos metálicos de cortes, esquirlas, trozos de cables, y envases.
5. Cuando se produce vertido accidental de aceites y grasas, hay que tratar de absorber la mayoría del líquido esparciendo serrín de forma inmediata, recogiendo después los restos compactados con un escobón y un recogedor de forma inevitable en la limpieza del área.
6. Los bancos de trabajo deben mantenerse limpios y ordenados en cada proceso, evitando que herramientas cortantes y punzantes se puedan camuflar entre materiales, para evitar accidentes, y agilizar su localización inmediata.
7. Tras colocar cada cosa en su sitio, hay que despejar la suciedad en la superficie de trabajo, con ayuda de trapos o elementos rígidos a modo de espátula.
8. Los disolventes, lubricantes, y otros productos inflamables deben almacenarse en un lugar seguro siempre, colocando aquí los envases con

contenido, después de cada uso, dentro de las normas de limpieza en el trabajo.

9. Los cables de maquinaria deben estar desconectados y recogidos después de su uso, para poder realizar con seguridad la limpieza del área cada vez que puntualmente se necesite en un punto, y prevenir todo tipo de caídas y accidentes de los trabajadores.
10. Dependiendo del tipo de solado, actividad y dimensiones de las instalaciones, puede ser recomendable realizar un barrido húmedo después de cada jornada.
11. Además, de forma diaria hay que retirar todos los envases, productos y restos inservibles en los correspondientes contenedores.
12. En cualquier caso, semanalmente es aconsejable realizar un fregado de suelo, para evitar que la suciedad se incruste de forma profunda, evitando así un esfuerzo mayor cuando se decida hacer la limpieza del área.
13. Para despegar restos de aceites y grasas industriales, hay que adquirir detergentes específicos con quitamanchas activos, para limpieza de talleres e industrias, que permiten su uso tanto con maquinaria manual o pilotada, como para el típico fregado con cubo y cepillo de raíces.
14. La zona de aseos y vestuarios también necesita como mínimo una limpieza en días alternos, utilizando productos desinfectantes como hipoclorito sódico, o detergentes antibacterianos, con especial atención a lavabos, urinarios e inodoros.
15. Mensualmente conviene además utilizar procedimientos para remoción de la suciedad en los lugares de más difícil acceso, como zona bajo estanterías, o recovecos detrás de maquinaria pesada, que se puede realizar con ayuda de sopladoras, y aspiradores industriales.
16. Trimestralmente es aconsejable liberar de posibles telarañas, y polvo los techos, paredes y luminarias dentro de la limpieza de un taller, que al tratarse de elementos en altura requieren de accesorios como pértigas a las que acoplar bayetas para completar este tipo de tareas.
17. La limpieza de cristales y claraboyas, es otro de los puntos más conflictivos en la limpieza del área, ya que habitualmente se encuentran situados en altura, dificultando la tarea, así que, si no se dispone de una

pequeña grúa mecanizada o andamiaje adecuado, es mejor dejar este tema a empresas de limpieza industrial.

- 18.** Semestralmente para la prevención y control de plagas se debe encargar a una empresa de limpieza homologada en este sentido.

Implica un pensamiento superior a limpiar, va más allá de una estética agradable permanente. Exige que realicemos un trabajo creativo de identificación de las fuentes de suciedad, inspeccionando el equipo para identificar problemas de cualquier tipo de falla en los mismos, por lo cual para identificar las fuentes de suciedad que se originan en el área, utilizaremos el formato de tarjeta amarilla, que permite registrar la acción correctiva y propuesta definitiva a implementar.

LIMPIEZA	
TARJETA AMARILLA	
FUENTE DE SUCIEDAD	
Aceite de motor 15W-40	
FECHA	N° DE TARJETA
16/01/2021	35
REPORTANTE	
Oscar Caballero Villegas	
CATEGORÍA	
1.- Material	<input type="checkbox"/>
2.- Condiciones	<input type="checkbox"/>
3.- Actos	<input type="checkbox"/>
4.- Sustancia química	<input type="checkbox"/>
5.- Líquido	<input type="checkbox"/>
6.- Aceite	<input checked="" type="checkbox"/>
7.- Polvo	<input type="checkbox"/>
8.- Otros:	
CANTIDAD	ÁREA
1/4 litro	Unidad de Maquinaria Pesada
DESCRIPCIÓN DE LA FUENTE	
Residuo de aceite de motor	
ACCIÓN CORRECTIVA	
Todo el aceite de motor residual es vaciado en un solo recipiente y desechado	
SOLUCIÓN DEFINITIVA	
Todo frasco con aceite de motor residual deberá ser enviado a Servicios Generales al siguiente día de abierto para otros usos	
CARGO	FIRMA DEL RESPONSABLE
Jefe Unidad de Maquinaria	

Figura 60. Formato tarjeta amarilla 5S

Elaboración: El autor

Para mantener la limpieza, deberemos contar con accesorios como tachos, escobas, recogedor, bolsas industriales, paños absorbentes y dispensadores de jabón y alcohol.



Figura 61. Tachos de desechos

Elaboración: El autor

2.4.3.4. Implementación de SEIKETSU (Estandarizar)

Entre los beneficios a lograr con la implementación de SEIKETSU se encuentran:

- Se guarda el conocimiento producido durante años de trabajo.
- Se mejora el bienestar del personal al crear un hábito de conservar impecable el sitio de trabajo en forma permanente.
- Los trabajadores conocen y utilizan de manera óptima el lugar y herramientas de trabajo.
- Se mantiene presente la realización de Seiri, Seiton y Seiso, efectuándolos de manera estandarizada.

Debemos mantener los logros con la aplicación de las tres primeras “S”, implementando normas para el trabajo de limpieza, tiempo empleado, medidas de seguridad a tener en cuenta y procedimiento a seguir en caso de identificar algo anormal. El empleo de los estándares se debe auditar para verificar su cumplimiento. Estandarizar las actuaciones para mantener el puesto de trabajo ordenado y limpio.

Consideraciones:

- 1. Asignar responsabilidades:** Sugerir la elaboración y aprobación de una Directiva o Manual o Protocolo de Orden y Limpieza para que cada

trabajador conozca exactamente cuáles son sus responsabilidades sobre lo que tiene que hacer, cuándo, dónde y cómo hacer los trabajos de orden y limpieza.

2. Integrar las acciones Seiri, Seiton y Seiso en las actividades diarias:

Sugerir la aplicación de Mantenimiento Autónomo nos ayuda a mantener la vida útil de los equipos, evitando el deterioro de los componentes de los mismos y a su vez la eliminación de accidentes e incremento de productividad en los procesos. El mantenimiento autónomo está compuesto por un conjunto de actividades que realizan diariamente los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, **limpieza**, intervenciones menores, cambios de útiles y piezas.



Figura 62. Pasos del mantenimiento autónomo sugerido por JIPM

Fuente: (TECSUP, 2020)

N°	Lugar de limpieza	Trabajo de Limpieza	Antes	Mejora 1	Mejora 2	Mejora 3			
1	Por debajo de la maquina	Limpieza general	5 min (una vez por turno)	Eliminación de objetos inaccesibles	Mejora de los utensilios de limpieza	Instalación de una placa de protección.			
				Fecha	13/04/2018	Fecha	13/05/2018	Fecha	13/06/2018
				Tiempo	3 min/turno	Tiempo	2 min/turno	Tiempo	2 min/sem
TOTAL			4320 min/año	2592 min/año	1728 min/año	96 min/año			

Figura 63. Trabajos de mejoras en tiempos de limpieza

Fuente: (TECSUP, 2020)

2.4.3.5. Implementación de SHITSUKE (Disciplinar)

Entre los beneficios a lograr con la implementación de SHITSUKE se encuentran:

- Se crea una cultura de sensibilidad, respeto y cuidado de los recursos.
- Se siguen los estándares establecidos y existe una mayor sensibilización y respeto entre personas.
- El sitio de trabajo será un lugar donde realmente sea atractivo llegar cada día.

Su aplicación nos garantiza que la seguridad será permanente, la productividad se mejora progresivamente implica un desarrollo de la cultura de autocontrol, para lo cual debemos realizar capacitaciones o charlas diarias de 5 minutos diarios para propuestas de mejora y recomendaciones para concientizar a los colaboradores de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción.

Para mantener la cultura de las 5S's, es necesaria una inspección continua para verificar que se cumplan los procedimientos bajo los manuales establecidos, para lo cual implementaremos un Checklist 5S's.

CHECKLIST 5S

AUDITOR: Edgar Gutiérrez Carranza		FECHA: 02/03/2021		ÁREA: Maquinaria y Equipos	
ETAPA 5S's	CONFORME	NO CONFORME	ACCIÓN A TOMAR		
SEIRI (CLASIFICAR)					
Las herramientas se encuentran en buen estado para su uso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Todos los materiales de trabajo son de uso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los pasillos estan libres de obstaculos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Hay en el área contenedores asignados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
SEITON (ORDENAR)					
El taller de mantenimiento está ordenado	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Las herramientas estan en su lugar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los materiales o insumos estan en su lugar	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los estantes están ordenados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los recipientes están en su lugar y señalizados	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
SEISO (LIMPIAR)					
El taller se encuentra limpio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
La mesa de trabajo se encuentra limpia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los estantes se encuentran limpios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Las paredes y ventanas se encuentran limpios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Los EPP están en su lugar y vigentes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
El piso esta limpio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
SEIKETSU (ESTANDARIZAR)					
Conocen la directiva, manual o protocolo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Conoce el procedimiento de mantenimiento autónomo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

AUDITOR



RESPONSABLE DEL ÁREA



Figura 67. Checklist 5S's

Elaboración: El autor

SEISO	Realizar la limpieza general del área	Supervisor y operarios			X			
	Identificar fuentes de suciedad	Supervisor			X			
	Mantener el pintado de paredes y estantes	Supervisor				X		
	Programar la limpieza periódica del área	Jefe Unidad de Maquinaria Pesada				X		
SEIKETSU	Desarrollar manual de limpieza	Equipo 5S				X		
	Desarrollar tabla de control visual	Equipo 5S				X		
	Programar ejecución de controles desarrollados	Equipo 5S					X	
SHITSUK E	Efectuar charlas de sensibilización	Jefe Unidad de Maquinaria Pesada					X	
	Desarrollar cuestionario de evaluación	Equipo 5S						X
	Desarrollar indicadores de nivel de progreso	Equipo 5S						X
	Programar inspecciones	Jefe Unidad de Maquinaria Pesada						X

Elaboración: El autor

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados de causas raíces

CR3: No cuentan con plan de mantenimiento preventivo

El indicador de disponibilidad mecánica del Cargador Frontal Caterpillar 938G mejoró de 68% a 97% generando menor tiempo de parada de la maquinaria pesada.

Tabla 85

Resultados CR3

INDICADOR DE LA CR3	FÓRMULA	VALOR ACTUAL	VALOR META
% de disponibilidad mecánica	$\% DM = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas paradas por mantenimiento preventivo}}{\text{Horas totales}} \times 100\%$	68%	97%

Elaboración: El autor

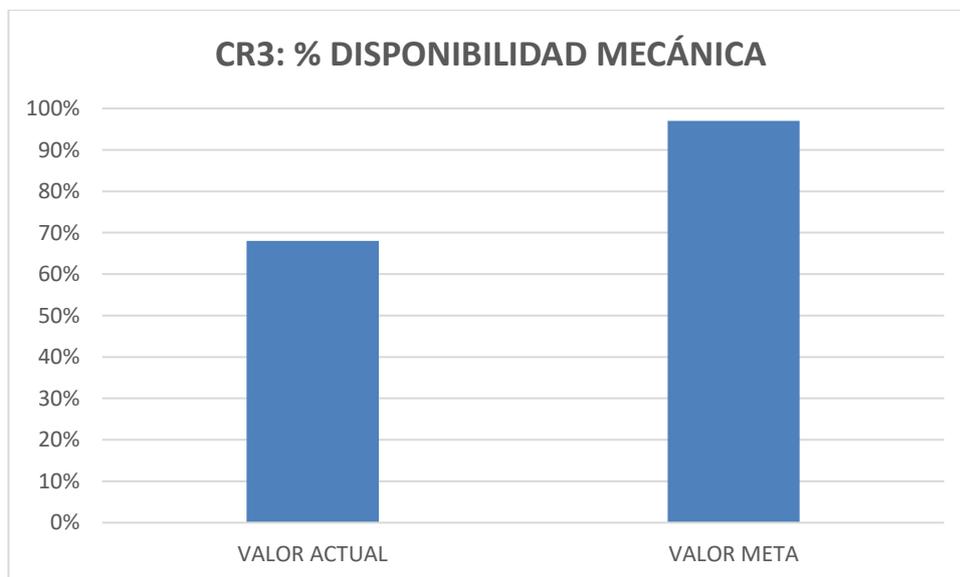


Figura 64. Comparativo CR3

Elaboración: El autor

CR5: Falta implementar indicadores de gestión de equipos

La implementación de indicador de gestión de equipos del Cargador Frontal Caterpillar 938G mejoró de 0% a 100% debido a que se implementó todos los indicadores.

Tabla 86

Resultados CR5

INDICADOR DE LA CR5	FÓRMULA	VALOR ACTUAL	VALOR META
% de indicador de gestión de Equipos	$\% \text{ IGE} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de indicadores de gestión de equipos implementados}}{\text{Total de indicadores de gestión de equipos}} \times 100\%$	0%	100%

Elaboración: El autor

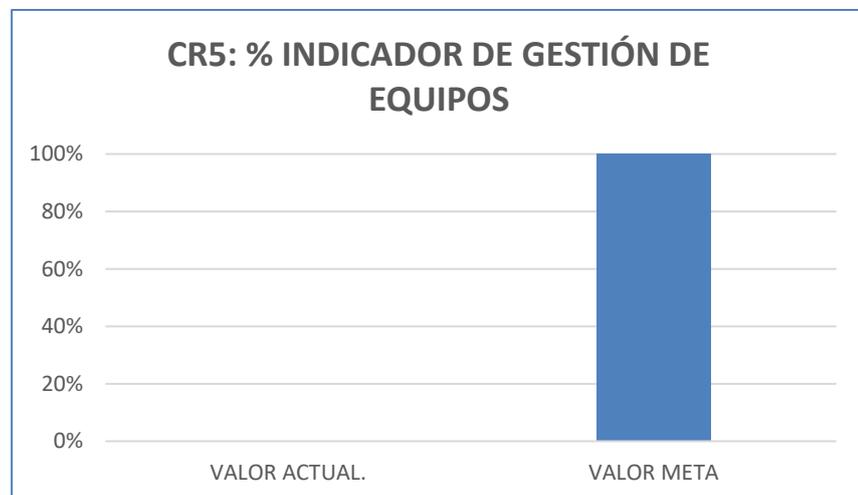


Figura 65. Comparativo CR5

Elaboración: El autor

CR2: Inexistencia de software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos

El indicador de implementación de software de mantenimiento mejoró de 0% a 85% debido a que se implementó 6 de los 7 módulos operativos del software GMAC.

Tabla 87

Resultados CR2

INDICADOR DE LA CR2	FÓRMULA	VALOR ACTUAL	VALOR META
% de implementación de software de mantenimiento	$\% \text{ ISM} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de módulos de software de mantenimiento implementados}}{\text{Total de módulos de software de mantenimiento}} \times 100\%$	0%	85%

Elaboración: El autor

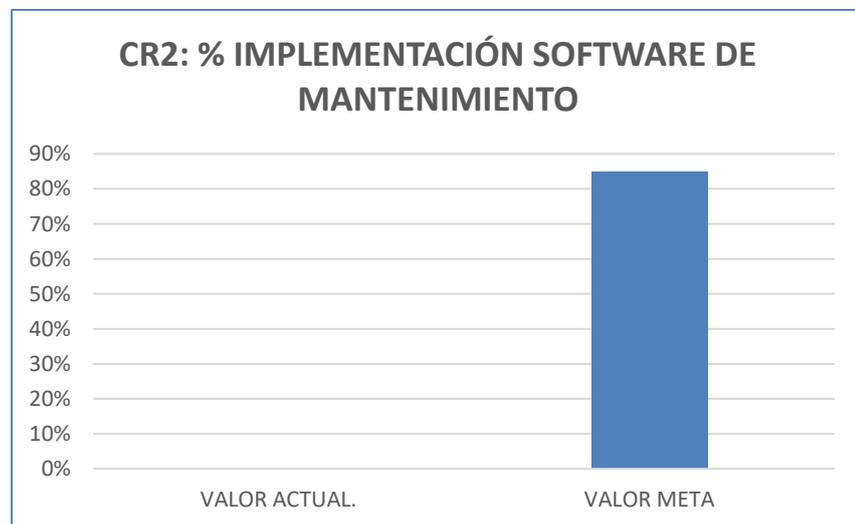


Figura 66. Comparativo CR2

Elaboración: El autor

CR4: Falta capacitación y entrenamiento en mantenimiento

Se obtuvo como resultado del indicador colaboradores capacitados de un 0% a un 100% teniendo en consideración que el plan de capacitación involucra a todo el personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción.

Tabla 88

Resultados CR4

INDICADOR DE LA CR4	FÓRMULA	VALOR ACTUAL	VALOR META
% de colaboradores capacitados	$\% CC = \frac{N^{\circ} \text{ de colaboradores capacitados}}{\text{Total de colaboradores}} \times 100\%$	0%	100%

Elaboración: El autor

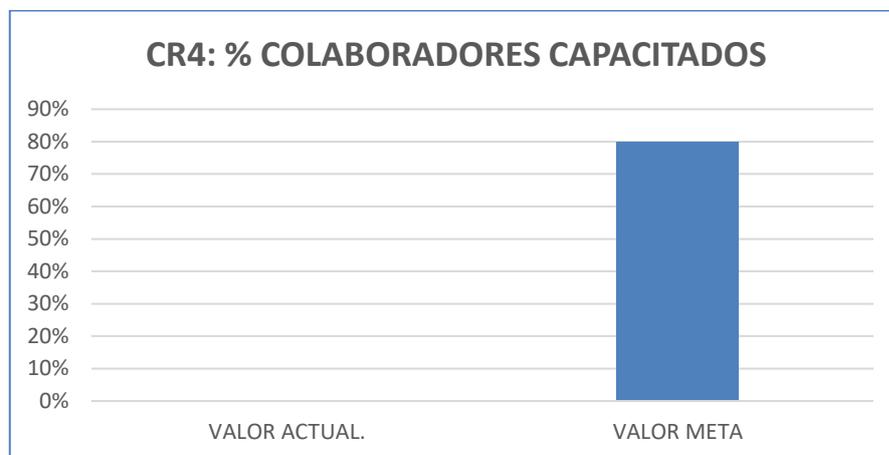


Figura 67. Comparativo CR4

Elaboración: El autor

CR1: Deficiente orden y limpieza

Se obtuvo como resultado del indicador implementación 5S de un 0% a un 100% teniendo en consideración que se desarrollaron las 5 etapas de la metodología 5S's.

Tabla 89

Resultados CR1

INDICADOR DE LA CR1	FÓRMULA	VALOR ACTUAL	VALOR META
% de implementación 5S	$\% \text{ I5S} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de etapas 5S implementadas}}{\text{Total de etapas 5S}} \times 100\%$	0%	100%

Elaboración: El autor

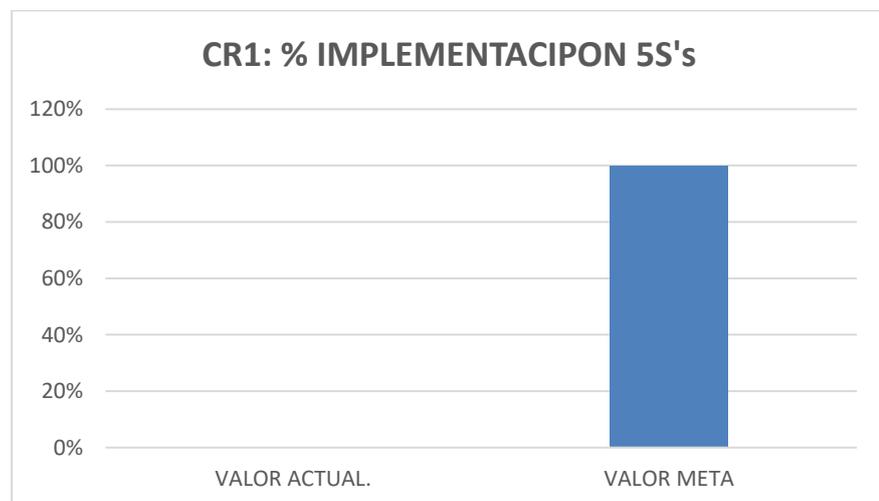


Figura 68. Comparativo CR1

Elaboración: El autor

3.2. Calculo de inversiones

3.2.1. Inversión en Plan de Mantenimiento Preventivo

CR3: No cuentan con plan de mantenimiento preventivo

La propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para el Cargador Frontal Caterpillar 938G tiene una inversión anual de S/ 33,814.00

Tabla 90

Inversión CR3

PERSONAL	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	HORAS	COSTO TOTAL
Asistente de mecánica	1	H/H	6.25	400	S/2.500.00
Ingeniero Industrial	1	H/H	16.66	400	S/6,664.00
Sub Total S/ (anual)					S/9,164.00
MATERIALES	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	CAMBIOS	COSTO TOTAL
Aceite de motor	2	Balde	270.00	8	S/4,320.00
Filtro de aceite	2	Unidad	120.00	8	S/1,920.00
Filtro de inyección	2	Unidad	80.00	8	S/1,280.00
Filtro de aire primario	1	Unidad	250.00	8	S/2,000.00
Filtro separador de agua	1	Unidad	100.00	8	S/800.00
Filtro hidráulico	1	Unidad	150.00	4	S/600.00
Filtro de transmisión	1	Unidad	375.00	4	S/1,500.00
Aceite de mandos finales	7	Balde	275.00	3	S/5,775.00
Aceite de transmisión	5	Galón	375.00	2	S/3,750.00
Aceite de diferenciales	1	Galón	375.00	1	S/375.00
Filtro de aire secundario	1	Unidad	250.00	1	S/250.00
Aceite hidráulico	8	Balde	250.00	1	S/2,000.00
Tropos industriales	8	Metro	10.00		S/80.00
Herramientas	1	Kit	200.00		S/200.00
Sub Total S/ (anual)					S/24,650.00
Total S/ (anual)					S/33,814.00

Elaboración: El autor

CR5: Falta implementar indicadores de gestión de equipos

La propuesta de implementación de indicadores de gestión de equipos para el área de Maquinaria y Equipos de Construcción tiene una inversión anual de S/ 2,499.20

Tabla 91

Inversión CR5

PERSONAL	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	HORAS	COSTO TOTAL
Jefe de Maquinaria y Equipos	1	H/H	14.58	80	S/1,166.40
Ingeniero Industrial	1	H/H	16.66	80	S/1,332.80
Sub Total S/ (anual)					S/2,499.20
Total S/ (anual)					S/2,499.20

Elaboración: El autor

CR2: Inexistencia de un software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos

La propuesta de implementación de un software de mantenimiento para ordenes de trabajo y requerimientos en el área de Maquinaria y Equipos de Construcción tiene una inversión anual de S/ 26,830.00

Tabla 92

Inversión CR2

PERSONAL	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	HORAS	COSTO TOTAL
Implantador	1	H/H	16.66	200	S/4,166.00
Técnico Informático	1	H/H	16.66	400	S/6,664.00
Sub Total S/ (anual)					S/10,830.00
SOFTWARE / HARDWARE	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	HORAS	COSTO TOTAL
GMAO	1	Sistema	10000.00		S/10,000.00

Guía de implantación	1	Archivo	2500.00	S/2,500.00
Computadora de escritorio Dell: Intel Core i7, 16 Ram	1	Unidad	3500.00	S/3,500.00
Sub Total S/ (anual)				S/16,000.00
Total S/ (anual)				S/26,830.00

Elaboración: El autor

3.2.2. Inversión en Plan de Capacitación

CR4: Falta de capacitación y entrenamiento en mantenimiento

La propuesta de implementación de un plan de capacitación para el área de Maquinaria y Equipos de Construcción tiene una inversión de S/ 11,660.00.

Tabla 93

Inversión CR4

CURSO	CANTIDAD	INSTITUTO	SEMANAS	HORAS	COSTO TOTAL
Mantenimiento de sistemas eléctricos y electrónicos	1	TECSUP	3	45	S/4,500.00
Diagnóstico de sistemas de equipo pesado	1	TECSUP	5	36	S/3,400.00
Lubricación de maquinaria industrial	1	TECSUP	5	30	S/1,880.00
Planificación y programación de mantenimiento de maquinaria pesada	1	TECSUP	5	36	S/1,880.00
Total S/ (anual)					S/11,660.00

Elaboración: El autor

3.2.3. Inversión en Plan de Implementación 5S

CR1: Deficiente orden y limpieza

La propuesta de implementación de la metodología 5S para el área de Maquinaria y Equipos de Construcción tiene una inversión de S/ 12,289.80.

Tabla 94

Inversión CRI

PERSONAL	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO	HORAS	COSTO TOTAL
Jefe de Maquinaria y Equipos	1	H/H	14.60	20	S/292.00
Implementador	1	H/H	16.67	240	S/4,000.80
Sub Total S/ (anual)					S/7,504.80
MATERIALES Y EQUIPOS	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL
Laptop HP: Intel Core i7, 8 Ram	1	Unidad	3000.00		S/3,000.00
Multifuncional Epson L3110	1	Unidad	750.00		S/750.00
Escritorio de melamine	1	Unidad	350.00		S/350.00
Silla de escritorio	2	Unidad	150.00		S/300.00
Pizarra acrílica	1	Unidad	150.00		S/150.00
Plumones de pizarra	6	Unidad	2.50		S/15.00
Papel bond A4	6	Millar	20.00		S/120.00
Señales	20	Unidad	5.00		S/100.00
Sub Total S/ (anual)					S/4,785.00
Total S/ (anual)					S/12,289.80

Elaboración: El autor

3.3. Evaluación económica financiera

Una vez calculado las inversiones, se procede a realizar el flujo de caja proyectado para un periodo de evaluación de 5 años que es lo que estima el ciclo de vida del presente proyecto.

Tabla 95

TEA productos bancarios

PRODUCTO	TEA
Capital de trabajo	15.4%
Maquinara y Equipos	14.5%
Compra de deuda	12.9%
Crédito hipotecario	9.0%
Crédito personal	23.0%

Elaboración: El autor

Tabla 96

Inversión inicial de la propuesta de mantenimiento preventivo

HERRAMIENTA	MONTO
Plan de mantenimiento preventivo	S/ 63,143.20
Plan de capacitación	S/ 11,660.00
Plan de implementación 5S	S/ 12,289.80
Total S/ (anual)	S/ 87,093.00

Elaboración: El autor

En la Tabla 96 se consolida el monto total de inversión inicial para la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo de la maquinaria pesada en la municipalidad.

Para determinar el flujo de caja, respecto al costo de mantener un buen funcionamiento y seguimiento a las propuestas implementadas será del 90% de la inversión inicial a partir del segundo año a excepción del plan de mantenimiento preventivo que será del 100% los 5 años, y referente a los ingresos generados por alquiler de maquinaria pesada en el primer año se considerará el 100% de ingresos, pero para los próximos 4 años solo el 90% del alquiler del Cargador Frontal Caterpillar 938G, esto debido a que los costos ya se sincerarán con el transcurrir del tiempo. A continuación, en la Tabla 97 se muestran el flujo de caja que permitirá obtener los resultados del VAN, TIR y B/C.

Tabla 97

Flujo de caja proyectado a 5 años

	0	1	2	3	4	5
INGRESOS						
Ganancia por mejora de disponibilidad del Cargador Frontal		168,960.00	152,064.00	152,064.00	152,064.00	152,064.00
TOTAL DE INGRESOS		168,960.00	152,064.00	152,064.00	152,064.00	152,064.00
EGRESOS						
Costo de implementación de plan de mantenimiento preventivo	33,814.00	33,814.00	33,814.00	33,814.00	33,814.00	33,814.00
Costo de implementación de indicadores de gestión de equipos	2,499.20	2,499.20	2,249.28	2,249.28	2,249.28	2,249.28
Costo de implementación de software de mantenimiento	26,830.00	26,830.00	24,147.00	24,147.00	24,147.00	24,147.00
Costo de plan de capacitación	11,660.00	11,660.00	10,494.00	10,494.00	10,494.00	10,494.00
Costo de plan de implementación 5S	12,289.80	12,289.80	11,060.82	11,060.82	11,060.82	11,060.82
TOTAL DE EGRESOS	87,093.00	87,093.00	81,765.10	81,765.10	81,765.10	81,765.10
FLUJO DE CAJA	-87,093.00	81,867.00	70,298.90	70,298.90	70,298.90	70,298.90

Elaboración: El autor

A partir del flujo de caja, se determinaron los indicadores financieros de la propuesta de mejora. Se tomó una Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR) del 23% anual.

Tabla 98

Indicadores financieros de la propuesta de mejora

DETALLE	MONTO
VAN	S/ 119,393.03
TIR	83%
B/C	S/ 2.37

Elaboración: El autor

Una vez realizados los cálculos financieros solo nos quedaría interpretar los mismos. Así, en el caso del Valor Actual Neto (VAN) el resultado nos indica que la propuesta de inversión nos generaría un beneficio de S/ 119,393.03 lo cual indica que la propuesta es viable.

Respecto, a la Tasa Interna de Retorno (TIR) obtenida es de 83% por lo cual la propuesta es rentable.

El análisis del Costo/Beneficio (B/C) obtenido es de S/ 2.37 lo cual refiere lo recuperado por cada sol invertido en la propuesta, se acepta la propuesta.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En el presente estudio como resultado del análisis de priorización de la maquinaria pesada tomando como criterios el costo actual, tiempo de antigüedad, intervenciones de mantenimiento registradas y exigencia en el trabajo de campo se seleccionó al Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G para demostrar nuestra hipótesis que la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad mecánica.

En esta investigación en el análisis del mantenimiento preventivo concordamos con (Amambal Alaya & Huatay Caja, 2018) quien teniendo en consideración los métodos de análisis de modos de fallas y efectos (AMFE) y el análisis de criticidad (AC) determina los puntos críticos de la maquinaria y las formas en que estos pueden fallar. En nuestra investigación esta jerarquización e identificación de los componentes que más influyen en cada uno de los sistemas del Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G nos permitió obtener los mismos resultados en los factores que intervienen en la disponibilidad mecánica.

En cuanto al indicador de disponibilidad mecánica discrepamos con el autor (Llauce Nuñez, 2017) quien manifiesta que con el programa de mantenimiento preventivo se llegó a aumentar la disponibilidad de la motoniveladora CAT 120K hasta 77.22% la cual considera como óptima. Sin embargo, concuerdo con (Mendoza Rabanal & Chavarry Cerdan, 2018) que después de implementar la propuesta de mantenimiento preventivo se logró aumentar la disponibilidad de las máquinas en un 28,4% para la máquina tronquera y 24,6% de la máquina sierra de la cinta, al concluir esta investigación estos indicadores obtienen un valor actualizado de 97.60% en la máquina tronquera y 94.50% en la máquina sierra de cinta.

Por otra parte, respecto a la propuesta coincidimos con (TECSUP, 2019) que debe ser evidente para todos que el mantenimiento preventivo es la única forma de mantener los equipos en perfectas condiciones operativas y la meta es alcanzar el 100% del cumplimiento del programa, por lo menos de los equipos más críticos.

Asimismo, estamos de acuerdo con lo planteado por (García Garrido, 2019) en que el objetivo más importante del mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy caro, antirentable. Conseguir pues el objetivo marcado de disponibilidad con un coste determinado es pues generalmente suficiente.

4.2 Conclusiones

Al analizar los factores que incurren en la indisponibilidad de la maquinaria pesada se encontró que la municipalidad no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo generando paradas no programadas, esta sería la razón por la que actualmente el Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G tiene una disponibilidad mecánica de 68% muy por debajo de la consideración técnica que debe ser mayor a 90%.

Como resultado del análisis modal de fallas y efectos (AMFE), y del análisis de criticidad (AC) se determinaron los componentes más críticos del Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G para diseñar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo.

El desarrollo de la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo permitió determinar la mejora de la disponibilidad mecánica del Cargador Frontal marca Caterpillar modelo 938G de una municipalidad a un 97%, es decir por encima de la consideración técnica.

Se evaluó a través de indicadores financieros la propuesta de implementar las tres herramientas de mejora como son un plan de mantenimiento preventivo, un Plan de Capacitación y un Plan de Implementación 5S, obteniendo como resultados un VAN de S/ 119,393.03, un TIR de 83% y un B/C de S/ 2.37, de lo cual se colige que la propuesta es viable, rentable y se acepta.

REFERENCIAS

- Adauto Arana, L. G. (2016). Propuesta de plan de mantenimiento preventivo para el cargador frontal new holland en la municipalidad de Huancán. Huancán, Huancayo, Junín: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Amambal Alaya, F., & Huatay Caja, C. V. (2018). Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en la empresa Martinez Contratistas e Ingenierias S.A.-Arequipa ,2018. Cajamarca, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del norte.
- Arenhart de Bastiani, J. (12 de 06 de 2018). *Diagrama de Ishikawa*. (Qualiex Blog de la Calidad)
- Arias, F. G. (2006). *El Proyecto de Investigación* (5 Edición ed.). Caracas, Venezuela: Editorial EPISTEME, C.A.
- Arrieta, J. G. (03 de 07 de 2012). *Revistas Académicas Universidad EAFIT*.
- BAS Machinery. (2020). <https://www.basmachinery.com>.
- Bravo Jiménez, H. J., & Castro Utria, L. C. (Enero de 2012). Plan de mantenimiento preventivo de maquinaria pesada de la empresa Inser Sas. Cartagena de Indias D, T y C., Bolívar, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolivar.
- Buelvas Díaz, C. E., & Martinez Figueroa, K. J. (2014). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa L&L. Barranquilla, Atlántico, Colombia: Universidad Autónoma del Caribe.
- C&V Ingeniería Cía Ltda. (2018). *SISMAC*. (C&V Ingeniería Cía Ltda.) doi:sales@cyvingeneria.com
- Caterpillar. (2003). www.cat.com.
- Congreso de la República. (08 de 01 de 1965). Ley N°15368. Lima, Lima, Perú: Diario El Peruano.
- Crane and Machinery. (2020). www.gruasyaparejos.com. (Crane and Machinery)
- Delgado, E. (22 de 03 de 2016). <https://spcgroup.com.mx>.
- Desposorio Pulido , A. R., & Rosario Ulco, J. C. (2017). “Propuesta de mejora mediante herramientas de mantenimiento productivo total(TPM) para disminuir los costos de operación del taller de mantenimiento agrícola en la empresa CAMPOSOL S.A.”. Trujillo, Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte.
- ESAN. (18 de 07 de 2016). *Conexión ESAN*. (ESAN)

- Espinoza Gamarra, C. (2018). Implementación de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la municipalidad distrital de CARAHUASI. Carahuasi, Abancay, Apurimac: Universidad Tecnológica del Perú.
- Ferreyros. (2018). *ferreyros.com.pe*. (Ferreycorp)
- Fuso. (2016). *www.fuso.com.pe*.
- García Garrido, S. (2012). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Fuenlabrada, Madrid, España: Renovetec.
- García Garrido, S. (2016). (Reportero Industrial) *www.reporteroindustrial.com*
- García Garrido, S. (2019). *www.renovetec.com/renovefree*
- Google. (2020). *www.google.com*. (*www.google.com*)
- Henkel. (10 de 03 de 2020). *Reparación-vehiculos*. doi:*www.henkel.es*
- Hernández Cruz, V. A. (2010). Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en funcionamiento de la zona vial N° 14, Dirección General de Caminos. Salamá, Baja Verapaz, Guatemala.
- Hernández Morales, H. A. (Octubre de 2015). Planeación del mantenimiento de la maquinaria pesada en proyecto: Modificación por fallas geológicas del camino de Amojileca-Omiltemi. Chilpancingo de Los Bravos, Guerrero, México: Instituto Politecnico Nacional.
- INEI. (Enero de 2017). Estadísticas Municipales 2016. Lima, Lima, Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- IntegraMarkets. (2018). *IntegraMarkets Escuela de Gestión Empresarial*. (I. E. Empresarial, Ed.)
- Labra Quispe, E. (19 de 12 de 2018). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la municipalidad provincial de Canchis - Cuzco. Puno, Puno, Puno: Universidad Nacional del Antiplano.
- Lantz, T. L. (2016). Cuatro problemas comunes de mantenimiento y cómo resolverlos. *Machinery Lubrication*.
- Llauce Nuñez, R. J. (2017). Programa de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de la motoniveladora CAT 120K en la municipalidad de Masma. Masma, Huancayo, Junín: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Lubricación y Mantenimiento Industrial. *Revista Digital Latinoamericana Lubricación y Mantenimiento Industrial*, 5, 19-20.

- Maldonado Villavicencio, H. M., & Sigüenza Maldonado, L. A. (2012). Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa Minera Dynasty Mining del Cantón Portovelo. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Mamani Limachi, R. (2008). Maquinaria y Equipos de Construcción. *Fichas maquinarias*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.
- Maquinarias pesadas. (2020). *Manual de análisis del mantenimiento de maquinaria pesada - sistema de gestión*. (© 2020 Maquinaria Pesada)
- MarcoTeórico.com. (2020). *MarcoTeórico.com*. (Marco Teórico.com)
- Martínez Calizaya, A. L. (2012). Proponer una gestión de mantenimiento para todos los equipos de línea amarilla de una empresa que brinda servicios de alquiler de maquinaria. *Mundoerp*. (S. Martínez Latorre, Productor, & Mundoerp.com) doi:<http://mundoerp.com>
- Martínez La Torre, S. (19 de 12 de 2012). *Mundoerp*. (S. Martínez Latorre, Productor, & Mundoerp.com)
- Mendoza Rabanal, D. C., & Chavarry Cerdan, J. J. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad en la maquina tronquera y sierra de cinta de la empresa DERIMA S.R.L. *Tesis*. Cajamarca, Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2020). *Consulta Amigable*.
- Mitsubishi. (2019). www.mitsubishi-motors.com.pe. (MC Autos del Perú S.A.)
- Mora Gutiérrez, A. (2009). *MANTENIMIENTO Planeación, ejecución y control* (Primera edición ed.). Mexico D.F., Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Municipalidad Distrital de El Porvenir. (2019). *Expediente Técnico "Mejoramiento del servicio de limpieza pública en el distrito El Porvenir"*. Municipalidad Distrital de El Porvenir, Unidad Formuladora de Proyectos. El Porvenir: Unidad Ejecutora de Proyectos.
- Municipalidad Distrital El Porvenir. (2015). Reglamento de Organización y Funciones. El Porvenir, Perú: MDEP.
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2009). Normas para el Uso y Mantenimiento de los vehículos de propiedad de la Municipalidad Provincial de Arequipa. (S. G. Racionalización, Ed.) Arequipa, Arequipa, Arequipa: Municipalidad Provincial de Arequipa.

- Municipalidad Provincial de Chiclayo. (Setiembre de 2014). Directiva para el uso, control y mantenimiento de vehículos y maquinaria de la Sub Gerencia de Gestión de Residuos Sólidos de la Municipalidad Provincial de Chiclayo. (U. d. Implementación, Ed.) Chiclayo, Chiclayo, Chiclayo: Municipalidad Provincial de Chiclayo.
- Municipalidad Provincial de Tayacaja. (2019). Reglamento para el uso, control y mantenimiento de maquinarias, vehiculos y abastecimiento de combustibles de la Municipalidad D-istrital de Tayacaja - Pampas. (G. d. Presupuesto, Ed.) Pampas, Tayacaja, Huancavelica: Municipalidad Provincial de Tayacaja - Pampas.
- Municipio al Día. (09 de 12 de 2016). *¿Se puede ejecutar gastos para la reparación de una máquina con cargo al proyecto de inversión para que sea utilizada en dicho proyecto? ¿Se puede ejecutar gastos para la reparación de una máquina con cargo al proyecto de inversión para que sea utilizada en dicho proyecto?*(Consultas frecuentes). Lima, Lima, Lima.
- Muñoz Abella, B. (2012). *Mantenimiento Industrial*. Madrid, España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Napoles Villa, A. V., Silva Ricardo, Y. D., & Marreros Fornaris, C. (Abril de 2016). <https://www.redalyc.org>.
- Pablo-Romero Carranza, J. L. (11 de 2013). <http://bibing.us.es>.
- Paredes R. , F. (11 de 2009). *Mantenimiento Autónomo: Pilar característico del TPM*. IDIA, 2.
- PCM. (06 de Mayo de 2003). *Ley Orgánica de Municipalidades*. Capítulo 4. Lima, Perú: Diario El Peruano.
- Pérez Castillo, C. G., & Salgado Ordóñez, G. M. (16 de 11 de 2012). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo programado para equipo pesado y motores fuera de borda del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Colta con la utilización de un software*. Colta, Chimborazo, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Pico Leguizamo, C. R. (2011). *Gestión del mantenimiento para la sección de equipo caminero del Gobierno Municipal de Arajuno*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Presidencia Constitucional de La República. (27 de Mayo de 2003). *Ley Orgánica de Municipalidades*. Lima, Perú: Diario El Peruano.
- Renovetec. (2018). *Renovefree*, 5. (Renove Tecnología S.L)

- Rodríguez Barreto, O. (27 de 10 de 2006). Modelo gerencial de mantenimiento para flotas de transporte de carga. *Postgrado en Gerencia de Mantenimiento*, 29. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Rojas Gonzales, J. R. (2019). Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado de una unidad minera en La Libertad, 2019. *Tesis*. Trujillo, La Libertad, Perú: Universidad Privada Del Norte.
- Ruiz Pinzón, J. D. (2009). *Implementación de un Programa de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria Pesada de la empresa Inverglobal Inc Ltda*. Escuela de Ingeniería Mecánica, Barrancabermeja - Santander - Colombia.
- San Bartolomé. (2016). *dongfeng.com.pe*. (San Bartolomé S.A.)
- Sanabria Cancelado, H. R., & Hernández Jiménez, H. D. (2011). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la gobernación de Casanare. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Scania. (2016). *www.scania.com/pe*. (Scanea)
- Sierra Álvarez, G. A. (20 de 02 de 2004). Programa de Mantenimiento Preventivo en la empresa metalmeccánica INDUSTRIAS AVM S.A. *Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico*, 115. Bucaramanga, Santander, Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Tavares, L. A. (2003). *Administración moderna del mantenimiento*. Rio de Janeiro, Brasil: Datastrem System Inc.
- TECSUP. (2019). Planificación y programación del mantenimiento. Lima, Lima, Perú: TECSUP.
- TECSUP. (01 de 2020). Programa Integral: Planner de Mantenimiento. Victor Larco Herrera, Trujillo, La Libertad: TECSUP.
- UNDiario. (16 de Febrero de 2016). Mantenimiento de Maquinaria Municipal. *Mantenimiento de Maquinaria Municipal*. Pacasmayo, San Pedro de Lloc, La Libertad: Accidentes & Política.
- Unimaq. (2019). *UNIMAQ*. (UNIMAQ S.A.)
- UniversidadPeru. (2020). *InfoEmpresa*. (UniversidadPeru)

ANEXOS

ANEXO N° 1

Formato propuesto de inspección diaria del cargador frontal Caterpillar 938G

FORMATO DE INSPECCIÓN DIARIA DE MAQUINARIA PESADA		
CHECK LIST		
MAQUINARIA:	CÓDIGO:	
OPERADOR:	FECHA:	
SUPERVISOR:	TURNO:	
CONTROL DE HORAS TRABAJADAS DE LA MAQUINARIA		
HORÓMETRO INICIAL:	HORÓMETRO FINAL:	
REVISIONES AUTOMÁTICAS DIARIAS EJECUTADAS POR EL OPERADOR		
1.- NIVEL DE ACEITE MOTOR		
2.- NIVEL DE REFRIGERANTE		
3.- NIVEL DE ACEITE TRANSMISIÓN		
4.- NIVEL DE ACEITE HIDRÁULICO		
5.- FUGA DE ACEITE		
6.- FUGA DE REFRIGERANTE MOTOR		
7.- ESTADO DE MANGUERAS EN GENERAL		
8.- ESTADO DE FAJAS EN GENERAL		
9.- ESTADO DE LLANTAS Y PRESIÓN DE INFLADO		
10.- ESTADO TREN DE RODAMIENTO		
11.- ALREDEDOR DE TODA LA MAQUINARIA		
12.- ESTADO DE CABINA		
13.- ESTADO DE ESPEJOS Y VENTANAS		
14.- FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE TABLERO DE MANDO		
15.- COMPONENTES SISTEMA ELÉCTRICO		
16.- COMPONENTE DE CORTE		
17.- EXTINTOR		
18.- CIRCULINAS		
19.- TACOS		
20.- ESCALERA		
21.- ESTADO DE CILINDROS		
22.- ESTADO DE BATERÍA (BORNES, CABLES, ETC)		
23.- ESTADO DE IMPLEMENTOS		
25.- RADIO DE COMUNICACIÓN		
OBSERVACIONES ADICIONALES		
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">OPERADOR</div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">SUPERVISOR</div>	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">JEFE UNIDAD</div>

ANEXO N° 2

Protocolo propuesto de seguridad diaria del cargador frontal Caterpillar 938G

PROCOLO DE SEGURIDAD DIARIO

1. OBJETIVO

1.1. Normar los trabajos que se realizan con maquinaria pesada para garantizar la seguridad del personal y de la maquinaria

2. ALCANCE

2.1. A todo el personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

3. NORMATIVIDAD

3.1. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N° 29783), Reglamento (Decreto Supremo N° 005-2012-TR)

3.2. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción (Decreto Supremo N° 011-2019-TR)

4. INDICACIONES

4.1. Solamente personal capacitado y autorizado podrá operar la maquinaria pesada

4.2. Está prohibido que el personal conductor deje estacionado su vehículos con el motor funcionando

4.3. Para estacionar maquinaria pesada con desperfectos mecánicos en carreteras, se debe bloquear las llantas con cunas de madera o metálicos, y girar las llantas con dirección al talud para avitar que la maquinaria ruede sin control, y colocar los conos de seguridad a una distancia de 5 mts.

4.4. Toda maquinaria pesada que ingrese a la zona de trabajo debe estar en perfectas condiciones de operatividad especialmente los sistemas de frenos y dirección

4.5. El personal de maquinaria pesada son responsables de mantener su radio de trabajo de 20 mts. despejado, solo ellos podrán autorizar el ingreso a dicha área previa coordinación con el supervisor

6. RESPONSABLE

6.1 Operador de Maquinaria Pesada - Supervisor

ANEXO N° 3

Protocolo propuesto de operación diario para el operador de maquinaria pesada

PROTOCOLO DE OPERACIÓN

1. OBJETIVO

1.1. Normar para que el operador garantice la seguridad del personal y de la maquinaria

2. ALCANCE

2.1. A todo el personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

3. NORMATIVIDAD

3.1. Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N° 29783), Reglamento (Decreto Supremo N° 005-2012-TR)

3.2. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción (Decreto Supremo N° 011-2019-TR)

4. INDICACIONES

- 4.1. El personal debe contar con su fotocjek obtenido por la Oficina de Recursos Humanos.
- 4.2. El personal debe comunicar al supervisor de turno de cualquier condición insegura de su maquinaria, así como de la zona de trabajo.
- 4.3. El personal nunca deberá bajar o subir de la maquinaria en movimiento.
- 4.4. El personal deberá mantener los peldaños y pisos de la maquinaria limpios de grasas, aceite o barro, para evitar posibles resbalones
- 4.5. El personal debe relevarse con las novedades que hubiera en el equipo.
- 4.6. El personal debara evitar el uso de ropas sueltas que podrían ser cogidas por las partes en movimiento o entrredarse en los pedales y palancas del equipo
- 4.7. Disponer que los equipos de maquinaria pesada sean manejados u operados sólo por el personal especializado en su manejo u operación.
- 4.8. El personal antes de abastecer combustible deberá siempre apagar el motor de la maquinara pesada

5. RESPONSABLE

5.1 Operador de Maquinaria Pesada - Supervisor

ANEXO N° 4

Protocolo propuesto de Covid-19 diario para el operador de maquinaria pesada

PROTOCOLO COVID-19 DIARIO

1. OBJETIVO

1.1. Establecer el protocolo para prevenir y controlar la propagación del COVID-19, en el personal que interviene con maquinaria pesada en la ejecución de obras de construcción

2. ALCANCE

2.1. A todo el personal de la Unidad de Maquinaria y Equipos de Construcción

3. NORMATIVIDAD

3.1. Decreto Supremo N° 044-2020-PCM y sus precisiones, modificatorias y prórrogas.

3.2. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo para el Sector Construcción (Decreto Supremo N° 011-2019-TR)

4. INDICACIONES

4.1. El personal no debe acudir a su centro laboral, al presentar los factores de riesgo y signos de alarma para COVID-19, tales como sensación de falta de aire o dificultad para respirar, desorientación o confusión, fiebre (temperatura mayor a 38°C) persistente por más de dos días, dolor en el pecho o coloración azul de los labios (cianosis), debiendo comunicarlo de manera inmediata al profesional de la salud.

4.2. Mantener la distancia de seguridad de 1.50 metros entre las personas que se encuentren en la obra. En caso de actividades que ineludiblemente deben realizarse de manera conjunta, debe procederse con la desinfección completa a cada persona antes de iniciar la tarea, y realizarse el seguimiento respectivo.

4.3. Lavar periódicamente los guantes, teniendo especial cuidado en garantizar su secado. Los guantes impermeables deben tener, preferiblemente, forro de algodón para evitar el contacto directo con el material y absorber la transpiración que se produce por la falta de ventilación.

4.4. Utilizar sus propias herramientas de trabajo o las que le sean facilitadas por su empleador, siendo estas siempre de uso personal y que no deben ser compartidas. De ser inevitable el uso compartido, deben estar debidamente desinfectadas tanto al inicio como al final de las actividades diarias de la obra.

4.5. Desinfectar sus Equipos de Protección Personal de manera regular, como mínimo una vez por jornada, con alcohol, agua y jabón. Cuando se deterioran deben ser desechados.

4.6. Mantener limpias las maquinarias que se usan en la obra, en las zonas que se encuentran en contacto directo con las manos al momento de su uso limpiando y desinfectando previamente el manubrio, las palancas, botones de uso.

4.7. El personal de la obra no puede salir durante el horario de trabajo, salvo en situaciones excepcionales, en cuyo caso la salida es autorizada por el supervisor.

5. RESPONSABLE

5.1 Operador de Maquinaria Pesada, Supervisor

ANEXO N° 5

Especificaciones de operación del cucharón CAT 938G

		Cuchillas emper-nables			Dientes y seg-mentos			Dientes		
		Cuchillas emper-nables	Dientes y seg-mentos	Dientes	Cuchillas emper-nables	Dientes y seg-mentos	Dientes	Cuchillas emper-nables	Dientes y seg-mentos	Dientes
Capacidad nominal	m ³	2,3	2,3	2,1	2,5	2,5	2,3	2,8	2,8	2,7
	yd ³	3,01	3,01	2,75	3,27	3,27	3,01	3,66	3,66	3,53
Capacidad a ras	m ³	1,97	1,97	1,87	2,1	2,1	2,0	2,41	2,41	2,04
	yd ³	2,58	2,58	2,45	2,75	2,75	2,62	3,15	3,15	2,67
Ancho	mm	2.706	2.777	2.777	2.706	2.777	2.777	2.706	2.777	2.777
	pies/pulg	89"	91"	91"	8'11"	9'1"	9'1"	8'11"	9'1"	9'1"
Espacio libre de descarga a levant. total y descarga de 45°	mm	2.890	2.786	2.786	2.849	2.743	2.743	2.771	2.664	2.664
	pies/pulg	96"	92"	92"	94"	90"	90"	91"	89"	89"
Alcance a levant. total y descarga de 45°	mm	984	1.089	1.089	1.010	1.114	1.114	1.068	1.170	1.170
	pies/pulg	3'3"	3'7"	3'7"	3'4"	3'8"	3'8"	3'6"	3'10"	3'10"
Alcance con brazos de levantamiento y cucharón horizontales	mm	2.180	2.327	2.327	2.230	2.377	2.377	2.330	2.447	2.447
	pies/pulg	72"	78"	78"	7'4"	7'10"	7'10"	78"	80"	80"
Profundidad de excavación	mm	50	50	25	50	50	25	50	50	25
	pulg	1,9"	1,9"	0,9"	1,9"	1,9"	0,9"	1,9"	1,9"	0,9"
Longitud total	mm	7.181	7.339	7.339	7.231	7.389	7.389	7.331	7.489	7.489
	pulg	282,7"	288,9"	288,9"	284,6"	290,9"	290,9"	288,6"	294,8"	294,8"
Altura total con cucharón a levantamiento máx.	mm	5.140	5.140	5.140	5.188	5.188	5.188	5.284	5.284	5.284
	pies/pulg	16'10"	16'10"	16'10"	17'0"	17'0"	17'0"	17'4"	17'4"	17'4"
Círculo de giro del cargador con cucharón en posición de transporte	mm	11.932	12.084	12.084	11.958	12.108	12.108	12.008	12.160	12.160
	pies/pulg	39'2"	39'8"	39'8"	39'3"	39'9"	39'9"	39'5"	39'11"	39'11"
Carga límite de equilibrio estático, recto*	kg	10.883	10.753	10.782	10.809	10.679	10.884	10.657	10.527	10.727
	lb	23.992	23.706	23.770	23.829	23.543	23.995	23.494	23.208	23.648
Carga límite de equilibrio estático, articulado a giro máx. de 40°*	kg	9.683	9.552	9.591	9.613	9.483	9.678	9.470	9.340	9.530
	lb	21.347	21.058	21.144	21.193	20.906	21.336	20.877	20.591	21.010
Fuerza de desprendimiento	kN	125,9	124,9	134,4	119,9	119,0	128,2	109,4	108,6	116,3
	lb	28.303	28.079	30.214	26.955	26.752	28.821	24.594	24.414	26.145
Peso en orden de trabajo*	kg	13.348	13.456	13.363	13.381	13.489	13.396	13.452	13.560	13.467
	lb	29.427	29.665	29.460	29.500	29.738	29.533	29.656	29.894	29.689



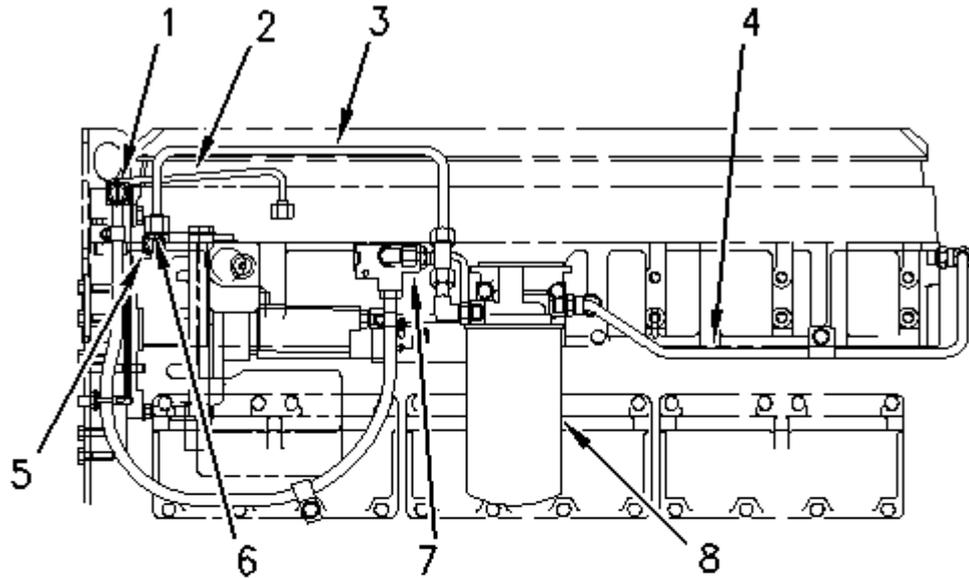
ANEXO N° 6

Símbolos del sistema hidráulico CAT 938G

FLUID POWER SYMBOLS						CAT®
BASIC COMPONENT SYMBOLS						
VALVE ENVELOPES			VALVES		VALVE PORTS	
CONTROL VALVES			CHECK VALVES			
FLUID STORAGE RESERVOIRS						
MEASUREMENT			ROTATING SHAFTS			
COMBINATION CONTROLS						
MANUAL CONTROL SYMBOLS						
RELEASED PRESSURE			PILOT CONTROL SYMBOLS		REMOTE SUPPLY PRESSURE	
ACCUMULATORS		CROSSING AND JOINING LINES			HYDRAULIC AND PNEUMATIC CYLINDERS	
HYDRAULIC PUMPS		HYDRAULIC MOTORS		INTERNAL PASSAGEWAYS		
FIXED DISPLACEMENT	VARIABLE DISPLACEMENT NON-COMPENSATED	FIXED DISPLACEMENT	VARIABLE DISPLACEMENT NON-COMPENSATED	INFINITE POSITIONING	THREE POSITION	TWO POSITION

ANEXO N° 7

Sistema de combustible CAT 938G



- (2) Tubo de retorno del combustible al tanque
- (3) Conjunto de tubo de la bomba de transferencia al filtro de combustible
- (4) Conjunto de tubo del filtro de combustible a la culata de cilindros
- (5) Lumbrera de entrada del combustible a la bomba de transferencia de combustible
- (6) Rejilla
- (7) Válvula de alivio de presión
- (8) Filtro de combustible



ANEXO N° 8

Especificaciones técnicas de neumáticos CAT 938G

Distancia entre ruedas para todos los neumáticos es 2.020 mm (80')

		Ancho sobre los neumáticos		Cambio en las dimensiones verticales		Cambio en el peso en orden de trabajo sin lastre		Cambio en el lim. de equilib. estat. - recto	
		mm	pulg	mm	pulg	kg	lb	kg	lb
20.5-25, (L-3)	Bridgestone	2.596	102	-9	-0,4	+209	+461	N/A	N/A
550/65R25, (L-3)	Michelin	2.569	101	-80	-3,1	+43	+95	0	0
20.5-25, (L-2)	Goodyear	2.607	103	+24	+0,9	-60	-132	-44	-97
20.5-25 (L-3)	Goodyear	2.602	102	-22	-0,9	-86	-190	+64	+141
20.5-R25 (L-2)	Michelin XTLA	2.601	102	0	0	0	0	0	0
20.5-R25 (L-3)	Michelin XHA	2.594	102	+6	+0,2	-170	-375	+129	+284
20.5-R25 (L-3)	Goodyear GP2B	2.595	102	+10	+0,4	+127	+280	+98	+216



ANEXO N° 9

Cotización de software de mantenimiento

	RENOVEFREE VERSION DEMO	RENOVEFREE VERSION PRO	RENOVEFREE VERSION MOBILE
PRECIO	Versión DEMO Impuestos no incluidos	1950€ Impuestos no incluidos	2695€ Impuestos no incluidos
CADUCIDAD	Hasta 30 días	Licencia perpetua	Licencia perpetua
COSTES ANUALES	NO	NO	NO
ACTUALIZACIONES DE VERSIONES	NO	Gratuita el primer año, después 495€ por año	Gratuita el primer año, después 495€ por año
INSTALACIÓN	NO	NO	Si, incluida la instalación y configuración del servidor web
GESTIÓN DE ACTIVOS	✓	✓	✓
GESTIÓN DE PERSONAL	✓	✓	✓
GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO Y DE LAS OJAS DE MANTENIMIENTO	✓	✓	✓



ANEXO N° 10

Temario del curso de mantenimiento eléctrico y electrónico



Mantenimiento de Sistemas Eléctricos y Electrónicos

Este curso es teórico práctico, que describe los principios de funcionamiento de los componentes que forman parte de un sistema eléctrico y electrónico, sus características constructivas y su aplicación en circuitos eléctricos de maquinaria pesada móvil tales, como cargadores frontales y camiones.

OBJETIVOS

Describir el funcionamiento de los componentes básicos de un sistema eléctrico industrial e interpretar planos eléctricos correspondientes a maquinaria pesada. Ejecutar operaciones de desmontaje y montaje de componentes eléctricos y electrónicos, de acuerdo a instrucciones y normas del fabricante. Evaluar fallas en la operación de sistemas eléctricos

Duración: 45 horas

TEMARIO

SEMANA 1	TIPO
- Sistema de Carga.	Teoría
- Principios Eléctricos	Teoría
SEMANA 2	TIPO
- Sistema de Arranque	Teoría
- Sistema de Luces	Teoría
SEMANA 3	TIPO
- Sistema de Monitoreo	Teoría

ANEXO N° 11

Temario curso de diagnóstico de sistemas de equipo pesado



Público ▼

Competencias a Desarrollar ▼

Áreas de Desarrollo Académico ▼

ESTRUCTURA PROGRAMADA

Metodologías de Diagnóstico del Equipo Pesado	36 hrs
Diagnóstico del Sistema Eléctrico y Electrónico del Equipo Pesado	36 hrs
Diagnóstico del Sistema Hidráulico del Equipo Pesado	36 hrs
Diagnóstico del Motor Diesel	36 hrs
Diagnóstico del Tren de Fuerza	36 hrs

ANEXO N° 12

Temario curso lubricación de maquinaria industrial



Lubricación de Maquinaria Industrial

Contacto: 958684753 / fforresc@tecsup.edu.pe

Optimizar el estado de los equipos y maquinaria industrial a través de la lubricación. Para ello desarrolla desde los conceptos básicos hasta las técnicas de aplicación y almacenamiento del lubricante.

OBJETIVOS

- Identificar los lubricantes industriales de acuerdo a su aplicación.
- Promover las mejores prácticas de aplicación de los lubricantes.
- Generar prácticas responsables de mantenimiento relacionados a los lubricantes industriales.

Duración: 30 horas

TEMARIO

SEMANA 0	TIPO
- Lubricantes	Teoría
- Selección y aplicación de lubricantes	Teoría
SEMANA 1	TIPO
- Estrategias de mantenimiento y la lubricación	Teoría
SEMANA 2	TIPO
- Lubricantes	Teoría
SEMANA 3	TIPO
- Selección y aplicación de lubricantes	Teoría
SEMANA 4	TIPO
- Mantenimiento preventivo/predictivo y control de condición	Teoría
SEMANA 5	TIPO
- Almacenamiento y administración.	Teoría

ANEXO N° 13

Temario curso planificación y programación del mantenimiento



Planificación y Programación del Mantenimiento de Equipo Pesado

El presente curso desarrolla técnicas que permiten administrar de forma eficiente un programa de mantenimiento, mediante las actividades planeadas y programadas con la previsión de todos los recursos necesarios. Todo esto asegura que las actividades se realicen en el menor tiempo posible, incrementando la disponibilidad de los equipos pesados en sus operaciones rutinarias.

OBJETIVOS

Analizar las etapas del ciclo de vida de los equipos, evaluando en cada una de estas las proyecciones de los tiempos de trabajo. Evaluar la criticidad de los equipos que contiene una flota pesada para jerarquizar y dar prioridades para direccionar el esfuerzo y los recursos donde más se requiere. Desarrollar los principios y técnicas de planificación y programación del mantenimiento para optimizar la disponibilidad de los equipos. Desarrollar procedimientos que permitan distribuir los recursos humanos y materiales de acuerdo a la necesidad de los trabajos de mantenimiento planificados, siguiendo indicadores de trabajo que brinde la mayor eficiencia y productividad.

Duración: 36 horas

TEMARIO

SEMANA	TIPO
SEMANA 1	TIPO
- Ciclo de vida y tiempos de trabajo de los equipos	Teoría
SEMANA 2	TIPO
- Criticidad de equipos.	Teoría
SEMANA 3	TIPO
- Principios y técnicas de planificación	Teoría
SEMANA 4	TIPO
- Programación del mantenimiento	Teoría
SEMANA 5	TIPO
- Gestión de los recursos	Teoría

ANEXO N° 14

Resultado del curso Planificación y Programación del Mantenimiento

Hola **EDGAR WILFREDO**

Buen día, agradecemos tu participación en el curso virtual **PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DEL MANTENIMIENTO** con inicio **19 de Febrero**, le informo el resultado obtenido:

ESTADO: APTO*

NOTA FINAL: 15

Nota mínima para aprobar es 11 (once).

***APTO:** Su certificado será enviado en un tiempo aproximado de 20 días hábiles a la dirección que indico al momento de inscribirse (no tiene costo adicional).

Consulta adicional sobre su certificado puede comunicarse con la Srta. Adriana Vilcapuma al correo avilcapuma@tecsup.edu.pe o al anexo 3563.

***NO APTO:** Lo invitamos a inscribirse al mismo curso virtual en nuestro próximo inicio con un descuento del 50%, comunicándose al correo informeslima@tecsup.edu.pe

Atte.

Jackelin Lara Mendoza
Asistente administrativo

 Santa Anita, Av. Cascanueces 2221

 jlaram@tecsup.edu.pe

 +51. 3173900 anexo 3259

 www.tecsup.edu.pe

Tecsup  Virtual

ANEXO N° 15

Cotización de suministros y materiales



Razón Social	GTZ LOGISTIC E.I.R.L.		
Dirección	Marcabalito G-2 Urb. Santa Teresa de Avila - Trujillo		
Ruc	20601089778		
CCI Cta. Cte.	002-570-002315777060-05 (Banco de Credito)		
Cta. Detracción	00-741-467909 (Banco de La Nación)		
Telefonos	971762214		
Email	gtz_logistic@hotmail.com		
Fecha	30/11/2020	Cotización	220-2021-GTZ

Estimados Señores MUNICIPALIDAD

Nos es grato dirigirnos a Uds. con el propósito de hacerles llegar nuestra COTIZACIÓN de suministros y materiales:

Item.	Cant.	Unidad de Medida	Descripción	Precio Unit. en S/ Includo IGV	Precio Total en S/ Includo IGV
1	1	BALDE	ACEITE DE MOTOR	S/270.00	S/270.00
2	1	UNIDAD	FILTRO DE ACEITE	S/120.00	S/120.00
3	1	UNIDAD	FILTRO DE INYECCIÓN	S/80.00	S/80.00
4	1	UNIDAD	FILTRO DE AIRE PRIMARIO	S/250.00	S/250.00
5	1	UNIDAD	FILTRO SEPARADOR DE AGUA	S/100.00	S/100.00
6	1	UNIDAD	FILTRO HIDRÁULICO	S/150.00	S/150.00
7	1	UNIDAD	FILTRO DE TRANSMISIÓN	S/375.00	S/375.00
8	1	BALDE	ACEITE DE MANDOS FINALES	S/275.00	S/275.00
9	1	GALÓN	ACEITE DE TRANSMISIÓN	S/375.00	S/375.00
10	1	GALÓN	ACEITE DE DIFERENCIALES	S/375.00	S/375.00
11	1	UNIDAD	FILTRO DE AIRE SECUNDARIO	S/250.00	S/250.00
12	1	BALDE	ACEITE HIDRÁULICO	S/250.00	S/250.00
13	1	METRO	TRAPOS INDUSTRIALES	S/10.00	S/10.00
14	1	KIT	HERRAMIENTAS	S/200.00	S/200.00
TOTAL					S/1,345.00

Atte,



Wilfredo Gutiérrez Herrera
GERENTE

ANEXO N° 16

Fotos de la maquinaria pesada en operación

