UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE
MAQUINARÍA PESADA EN UNA PYME UTILIZANDO EL
RCM**

TESIS

Para optar el título profesional de: Ingeniero Industrial

AUTOR

Mayorca Alvarado, Roberto Jaime (0000-0001-7672-3502)

ASESOR DE TESIS

Cauvi Suazo, Gabriela (0000-0003-1829-8362)

Lima, 21 de Febrero del 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y
haberme dado salud para lograr mis objetivos, además
de su infinita bondad y amor.*

A mis tías, tíos, hermanos y pareja por su apoyo incondicional.

RESUMEN

En la presente investigación se describe un análisis de la aplicación de un sistema de mantenimiento basado en el RCM en una empresa de prestación de servicios de alquileres de maquinaria pesada para el sector minero. Se plantea como hipótesis que dicha la aplicación del RCM permitirá mejorar la gestión del mantenimiento a través de la reducción del desgaste prematuro de equipos al implementar el mantenimiento preventivo y por otro lado la disminución del uso de repuestos inadecuados el programa de evaluación y compra de repuestos críticos.

Para ello el trabajo se divide en cinco capítulos, en el capítulo 1 se tratan los principales conceptos y metodologías relacionadas al mantenimiento y sus sistemas de gestión. En el capítulo 2, el análisis de la empresa y sus procesos para terminar con las causas que originan el problema de paradas no programadas. En el capítulo 3 se establece la propuesta de mejora del proceso de mantenimiento en base al sistema RCM. En el capítulo 4 se evalúa el proyecto de mejora de manera técnica a través de la simulación del proceso y de manera financiera a través de la evaluación económica. Por último se plantean las conclusiones y recomendaciones finales del proyecto para futuras investigaciones.

Palabras clave: Maquinarias, mantenimiento, repuestos y RCM

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE IMÁGENES	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 ANTECEDENTES	14
1.1.1 Rubro de outsourcing de maquinaria.....	14
1.1.2 Mantenimiento en el outsourcing de maquinaria	15
1.1.3 Casos de éxito de la implementación del sistema RCM	17
1.2. MARCO LEGAL.....	25
1.2.1 Ley en el Perú.....	25
1.2.2 Regulación en el sector outsourcing.....	27
1.4 MARCO TEÓRICO	29
1.4.1 Definición de mantenimiento	29
1.4.2 Mantenimiento preventivo	30
1.4.3 Mantenimiento correctivo	32
1.4.4 Sistema de gestión de mantenimiento: TPM y RCM.....	33
1.5 HERRAMIENTAS DE CALIDAD USADAS EN EL RCM.....	39
1.5.1 Análisis de modo y efectos de falla.....	39
1.5.2 Árbol lógico de decisión	41
1.5. 3 Análisis de causa raíz (espina de pescado).....	42
1.5. 4 Análisis de los 5 porque	45
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	48

2.1 ANÁLISIS DEL SECTOR INDUSTRIAL	48
2.1.2 Sector Minería	49
2.3 ANÁLISIS DE LA EMPRESA.....	50
2.3.1 Descripción de la empresa.....	51
2.4 ANÁLISIS DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARIAS PESADAS	56
2.4.1 Problemática.....	63
2.5 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	68
2.6 DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS	77
2.6.1 Elaboración de la determinación de causas.....	78
2.6.1 Determinación de la causa raíz.....	79
CAPITULO 3. METODOLOGÍA SOLUCIÓN AL PROBLEMA	88
3.1 ELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	88
3.2 DISEÑO DE LA PROPUESTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	90
3.2.1 Establecimiento de los niveles de desempeño exigidos.	90
3.3 IMPLANTACIÓN DE SOLUCIONES.	91
3.3.1 Formación del personal en la metodología RCM.....	91
3.4 DISEÑO DE LA PROPUESTA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	92
3.4.1 Fase 1 Selección del sistema y recolección de la información	93
3.4.2 Fase 2 Listado de funciones y sus especificaciones.....	93
3.4.3 Fase 3 Determinación de fallos principales y secundarios.....	98
3.2.6 Análisis de fallas y sus efectos (AMEF)	99
3.4.5 Fase 5 Estudio de criticidad de los fallos	106
3.4.6 Fase 6 Determinación de las medidas preventivas.....	107
3.5 PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES	113
3.6 ACCIONES DE GARANTÍA.....	114
3.6.1 Elaboración de la guía de ensamblaje del motor.....	114
3.6.2 Auditoría de diagnóstico y localización de averías en los sistemas del motor	115
3.6.3 Formatos del sistema RCM.....	117
3.4.4 Sistema de gestión de KPI's.....	119
3.5 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL AMEF	121
3.5.2 Objetivo	124

3.5.3 Actividades implementadas en la propuesta de mejora	126
3.5.4 Resultados de la aplicación de la mejora	128
3.6 Aporte metodológico.....	138
3.7 SIMULACIÓN.....	138
Primero	138
Segundo.....	139
Tercero	140
Cuarto	141
3.6.1 CONCLUSIÓN DE LA SIMULACIÓN	143
CAPITULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	145
4.1 FLUJO DE INGRESOS DEL PROYECTO	145
4.2 GASTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	146
4.3 FLUJO DE CAJA PROYECTADO	148
4.4 EVALUACIÓN DE TIR Y VAN	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 FORMATO DE PLAN DE MANTENIMIENTO.....	20
FIGURA 2 FORMATO DE REGISTRO DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	21
FIGURA 3 RESULTADO DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO	22
FIGURA 4 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO	30
FIGURA 5 LAS 7 PREGUNTAS DEL RCM.....	34
FIGURA 6 PRINCIPALES PASOS DEL RCM	35
FIGURA 7 EJEMPLO DE UN ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN.....	41
FIGURA 8 VENTAS REALES DEL SECTOR SERVICIOS PRESTADOS A EMPRESAS	49
FIGURA 9 EVOLUCIÓN DEL PBI DE LA MINERÍA	49
FIGURA 10 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA	52
FIGURA 11 EQUIPOS QUE PRESTAN SERVICIO A LAS MINERAS	52
FIGURA 12 MAPA DE PROCESOS DE LA EMPRESA	54
FIGURA 13 PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL SERVICIO	54
FIGURA 14 FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE MAQUINARÍA	56
FIGURA 17 RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD DEL CARGADOR FRONTAL	65
FIGURA 18 RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD DE LA RETROEXCAVADORA	65
FIGURA 19 RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD DE LA EXCAVADORA.....	66
FIGURA 20 RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD DEL TRACTOR	67
FIGURA 23 PARADAS DEL CARGADOR FRONTAL	74
FIGURA 24 PARADAS DEL TRACTOR	74
FIGURA 25 HORAS DE PARADAS NO PROGRAMADAS POR TRIMESTRE.....	75
FIGURA 28 DIAGRAMA DE PARETO DE CAUSAS DE PARADAS.....	79
FIGURA 29 GRÁFICO DE CONTROL DE NÚMERO DE DESGASTES REGISTRADAS	79
<i>FIGURA 31: DIAGRAMA DE ÁRBOL DE LA PROBLEMÁTICA DE LA EMPRESA</i>	<i>85</i>
FIGURA 34 COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA DIESEL.	96
FIGURA 35 PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL MOTOR	109

FIGURA 36 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE GESTIÓN DE INDICADORES KPI	119
FIGURA 37 SISTEMA INFORMÁTICO DE GESTIÓN DE INDICADORES	120
TABLA 51 INDICADORES ANTES Y DESPUÉS DE LA MEJORA	125
FIGURA 38 MEJORA DE LA UTILIZACIÓN DE LA MAQUINARIAS	128
FIGURA 39 MEJORA DEL TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR).....	129
FIGURA 40 MEJORA DEL TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)	130
FIGURA 41 MEJORA DE LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA (OEE).....	131
FIGURA 42 RESULTADOS DE LAS HORAS DE PARADAS	131
FIGURA 43 REDUCCIÓN DE LAS PARADAS NO PROGRAMADAS	132
FIGURA 44 PARADAS NO PROGRAMADAS/ TOTAL DE PARADAS (%) DE LAS RETROEXCAVADORAS...	133
FIGURA 45 PARADAS NO PROGRAMADAS/ TOTAL DE PARADAS (%) DE LAS EXCAVADORAS	133
FIGURA 46 PARADAS NO PROGRAMADAS/ TOTAL DE PARADAS (%) DE LOS CARGADORES FRONTALES	134
FIGURA 47 PARADAS NO PROGRAMADAS/ TOTAL DE PARADAS (%) DE LOS TRACTORES	135
FIGURA 48 % DE REPUESTOS EN MALAS CONDICIONES	135
FIGURA 49 % DE REPUESTOS EN CONDICIONES REGULARES.....	136
FIGURA 50 CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	137
FIGURA 51 DIAGRAMA DEL APOORTE METODOLÓGICO DEL SISTEMA RCM EN LA EMPRESA.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 SUCESIÓN DE NORMAS SOBRE TERCERIZACIÓN DE SERVICIOS	26
TABLA 2 OBLIGACIONES DE LAS EMPRESAS	27
TABLA 3 PRINCIPALES OBJETIVOS DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO	57
TABLA 4 FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE UNA RETROEXCAVADORA.....	58
TABLA 5 FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE LA EXCAVADORA.....	59
TABLA 6 FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DEL CARGADOR FRONTAL.....	59
TABLA 7 FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE UN TRACTOR.....	60
FIGURA 15 DIAGRAMA DE FLUJO DE ACTIVIDADES DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO	61
FIGURA 16 DIAGRAMA DE FUNCIONES DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO.....	62
TABLA 8 INDICADORES DE MANTENIMIENTO AÑO 2016	63
TABLA 9 INDICADORES DE MANTENIMIENTO DEL TRACTOR	63
TABLA 10 FORMATO DE REPORTE DE RENDIMIENTOS DE MAQUINARIAS.....	64
TABLA 11 RESULTADOS DE DISPONIBILIDAD MENSUAL DE LAS MAQUINARIAS.....	64
TABLA 12 INFORME DE FALLAS	68
TABLA 13 CHECK LIST DE CONTROL DE TIEMPOS DE TRABAJO PRIMER TRIMESTRE	70
TABLA 14 INFORME DE FALLAS PRIMER TRIMESTRE	70
TABLA 15 CHECK LIST DE CONTROL DE TIEMPOS DE TRABAJO SEGUNDO TRIMESTRE	72
TABLA 16 INFORME DE FALLAS SEGUNDO TRIMESTRE.....	72
FIGURA 21 PARADAS DE LA RETROEXCAVADORA.....	73
FIGURA 22 PARADAS DE LA EXCAVADORA.....	73
TABLA 17 COSTO DE HORA PERDIDA	76
TABLA 18 REGISTRO DE MOTIVO DE PARADAS	77
TABLA 19 CAUSAS DE PARADAS NO PROGRAMADAS	78
TABLA 23 CHECK LIST DE DIAGNÓSTICO DE DESGASTES	81
TABLA 24 CONDICIÓN DE LOS REPUESTOS.....	82
FIGURA 30 CAUSAS RELACIONADAS CON LA FALTA DE REPUESTOS.....	82

FIGURA 30 CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	83
TABLA 25 ANÁLISIS DE LOS 5 ¿POR QUÉ?	84
TABLA 26: ESCALA DE CALIFICACIÓN	86
TABLA 24: SELECCIÓN DE ESTRATEGIA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO	86
TABLA 25: MATRIZ DE PROCESO DE JERARQUÍA ANALÍTICA	88
TABLA 26: MATRIZ DE NORMALIZACIÓN DE LOS CRITERIOS	89
TABLA 27: EVALUACIÓN DE OPCIONES.....	89
TABLA 28: MATRIZ NORMALIZADA DE LAS METODOLOGÍAS	89
TABLA 29: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	89
TABLA 30 INDICADORES META DE LA PROPUESTA	90
FIGURA 32 EQUIPO RCM Y RESPONSABILIDADES.....	91
FIGURA 33 FASES DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM EN LA EMPRESA	93
TABLA 33 TABLA DE PUNTAJE DEL AMEF	98
TABLA 34 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR MEDICIÓN	100
TABLA 35 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR MATERIAL.....	101
TABLA 36 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR MANO DE OBRA.....	102
TABLA 37 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR AMBIENTE.....	103
TABLA 38 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR MÉTODO.....	104
TABLA 39 HOJA DE INFORMACIÓN AMEF - FACTOR MAQUINARÍA	104
TABLA 40 TABLA DE CRITICIDAD	106
TABLA 41 CUADRO DE CRITICIDAD	107
TABLA 42 HOJA DE DECISIÓN RCM IMPLEMENTADA	108
TABLA 43 TÁCTICA DE MANTENIMIENTO IMPLEMENTADA	109
TABLA 44 LISTA DE TAREAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL RCM.....	112
TABLA 45 DIAGRAMA 1 DE GANNT DE PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL RCM	113
TABLA 46 GUÍA DE ENSAMBLAJE DE MOTOR	114
TABLA 47 HOJA DE DECISIÓN RCM EN MOTORES	117
TABLA 48 FORMATO DE VERIFICACIÓN DE FUGAS DE MOTOR.....	119
TABLA 47 INDICADORES KPI	120
TABLA 50 RESULTADOS DE AMEF EN MOTORES	121

TABLA 52 RELACIÓN ENTRE LAS CAUSAS DE PARADAS NO PROGRAMAS Y LAS PRINCIPALES

ACTIVIDADES ELABORADAS EN LA PROPUESTA DE MEJORA	127
TABLA 51 AHORROS POR LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	145
TABLA 52 GASTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA.....	146
TABLA 53 GASTOS EN HERRAMIENTAS OPERATIVAS	147
TABLA 54 GASTOS EN HERRAMIENTAS DE MANTENIMIENTO	147
TABLA 55 GASTO VARIOS DEL PROYECTO	147
TABLA 56 TOTAL DE GASTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	148
TABLA 57 FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO	149
TABLA 58 CÁLCULO DE TIR Y VAN DEL PROYECTO	150

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación pretende realizar un análisis los beneficios de la aplicación de la herramienta RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) en una empresa de prestación de servicios de maquinaria pesada al sector de minero. Dentro de los sistemas que gestionan al mantenimiento, la herramienta más ampliamente utilizada es el AMEF (Análisis de modo y efecto de falla) que se estableció dentro del sistema RCM, es por ello que la presente investigación presente responder al siguiente cuestionamiento: ¿Cuáles son los beneficios de aplicar el RCM en la mejora de la prevención del mantenimiento y en la disminución paradas en empresas automotrices en la empresa?

Para la resolución de este problema se plantea que los beneficios de la implementación del RCM en el proceso de mantenimiento de maquinaria, serán la mejora del mantenimiento preventivo y la reducción del uso de repuestos en malas condiciones que llevará a la disminución de las paradas no programadas de las maquinas. Esto se demuestra con la elaboración de una propuesta de mejora del proceso de mantenimiento basado en los pasos de implementación del RCM y la gestión de repuestos en base al análisis con la herramienta AMEF.

De acuerdo a los resultados generados se puede recomendar que en todo sistema de gestión de mantenimiento de la empresa se use la herramienta AMEF, pues con ella se genera el análisis de los riesgos y priorización de las fallas de un sistema complejo como el de motores de automóviles y además conlleva a generar planes de acción para reducir o eliminar las fallas.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realizará una revisión del estado actual de tercerización de maquinaria pesada para el sector minero en el Perú, así mismo se desarrollarán los principales conceptos para el análisis de mejora del proceso de mantenimiento en maquinaria pesada. Por otra parte, se realizará un resumen de la metodología del RCM (Reliability Centred Maintenance o Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad), los beneficios de su implementación y las herramientas que pueden ayudar en la mejora de este proceso de mantenimiento.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Rubro de outsourcing de maquinaria

La Tercerización, es una forma de organización empresarial que permite a una empresa llamada “principal”, encargar o delegar a un tercero (“empresas tercerizadoras”), el desarrollo de una o varias partes del proceso productivo principal. Normalmente se recurren a estas estrategias organizativas por razones de especialidad o costos. En su sentido más formal la definición es descrita por Salomón (2010) como:

“... la práctica de una empresa de adquirir servicios por fuera de la misma en vez de generarlos internamente. Esta modalidad permite comparar antecedentes, perfiles y costos. El outsourcing les brinda a las compañías la posibilidad de acceder a servicios especializados y de rápido abastecimiento sin poseerlos ni crearlos internamente, permite la decisión de su adquisición o suspensión sin utilizar ni despedir a su propio personal.” (2010, p. 4)

Meyers (citado por Van Niekerk & Visser, 2010) describe la externalización de algunas funciones de mantenimiento (o todo el mantenimiento de los equipos específicos) como una de las herramientas a disposición del jefe de mantenimiento, que, si se utiliza correctamente, seguirá añadiendo más valor conforme se aumenta la relación proveedor externo con la empresa principal.

A menudo, la externalización del mantenimiento solo menciona la importancia de la mejora de la planificación sin poner mucho énfasis en la mejora de la fiabilidad de los procesos tercerizados al estar en la mano de empresa especializadas, pero hay que tomar en cuenta que ya se ha probado que la externalización de la función de mantenimiento se centra en la reducción del costo de mantenimiento en lugar de los resultados derivados de un mejor desempeño de mantenimiento, pues aumenta la probabilidad de que las maquinarias y equipos cumplan una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado. El argumento de ahorro de costos se encuentra en que los proveedores del servicio tienen que establecer mejores sistemas de gestión de trabajo y muy probablemente también proporcionan menores costos en mano de obra y la gestión del día, sin mejorar muchas veces la operatividad de la maquinaria. (Idhammar, 2013, p. 33)

El mantenimiento es una función críticamente importante de cualquier negocio que depende de los activos físicos para la producción de productos o la prestación de servicios. En ciertos casos hay un buen caso de negocio para externalizar una parte del mantenimiento de una parte externa. (Van Niekerk & Visser, 2010, p. 79)

1.1.2 Mantenimiento en el outsourcing de maquinaria

La empresa SERVICIOS GENERALES TEMASA SRL, tiene su centro de operaciones es ubicado en minas de la provincia de Huancavelica, su centro de mantenimiento está ubicado dentro de las instalaciones de la minera Castrovirreyna y también en Lima, ha establecido como una de las prioridades fundamentales para la organización el desarrollo económico tanto para la empresa como para la comunidad. Para esto la empresa posee una flota de maquinaria pesada de quince unidades como cargador frontal, retroexcavadora, excavadora, motoniveladora, bulldozer, minicargador, que permiten realizar la producción para la industria minera y construcción civil.

La actividad realizada por la empresa dentro de esta estructura es la de realizar un buen mantenimiento subcontratado, tomando en cuenta estos principios:

- Asociación a largo plazo de ganar-ganar.

- Caso empresarial de apoyo.
- Elaboración de un buen contrato.

La definición de un buen mantenimiento subcontratada detalla que el buen mantenimiento externalizado es un buen mantenimiento desempeñado por una parte externa, donde:

- La relación es una asociación de beneficio mutuo que crea más valor para ambos socios.
- El servicio es sostenible en el largo plazo, y hace un buen rendimiento sostenido.
- El crecimiento de la capacidad de mantenimiento del cliente, y la mejora continua.¹

La falta de programación y planificación del mantenimiento ocasionan la no disponibilidad de equipos durante horas de trabajo que necesita la minera, esto genera como consecuencia retraso en la producción y/o construcción, debido a los constantes fallos que han producido hasta incluso paros totales y parciales de las maquinarias pesadas; en consecuencia, se generan costos elevados lo cual produce un grave problema para la administración de la empresa.

Si un contrato de outsourcing se basa en la fiabilidad, centrándose en la obtención de resultados con un enfoque en las mejoras de fiabilidad, seguido por menores costos. Al entrar en el primer o segundo año los costos del mantenimiento basado en confiabilidad dentro del contrato de externalización son muy propensos a subir antes de que empiece a disminuir en el segundo o tercer año. (Idhammar, 2013, p. 32)

Beneficios de la tercerización

Entre los muchos beneficios que han encontrado las empresas industriales y de servicios de tercerizar parte de sus operaciones se mencionan algunos como:

- Esta herramienta genera reducción de costos y aumento de la calidad, ya que se enfocan en su verdadera competencia.
- La tercerización asume la operación recibida y responde por las fallas que puedan cometerse en la misma, imputables a su rol.

¹ Cfr. Niekerk & Visser, 2010

- Se constituye en una solución operativa integral, aporta al recurso humano e incorpora soluciones de software, hardware y perfilamiento de la operación hacia una estructura de acuerdo a los niveles de servicio. En términos generales, un buen contratista de outsourcing trasciende el plano de la subcontratación y se convierte en un aliado estratégico. (NATCOL, 2016)

En el caso específico de la tercerización del servicio de maquinarias, se detalla que hoy en día las empresas requieren competencias específicas, técnicos entrenados y un equipo en adecuadas condiciones. Los técnicos deben ser entrenados y deben ser certificados, para trabajar en los equipos mineros. El inventario es también motivo de preocupación, tomando en cuenta la administración y control del costo de los neumáticos, los filtros, los extremos de las ruedas, y sus partes, así como el mantenimiento de este inventario pues esto genera una enorme carga para las finanzas de la empresa. (Kaufman, 2010, p. 20)

1.1.3 Casos de éxito de la implementación del sistema RCM

Caso 1 Empresa eléctrica

a) Problema

En una empresa eléctrica ubicada en México, la disponibilidad media de los equipos se encuentra actualmente en el 75 %, frente a un estándar de clase mundial de más de un 97 %, esto hizo que la disponibilidad del equipo sea generalmente pobre; pues las maquinarias o equipo no suelen estar disponibles para el momento en que se requieren para la producción. La disponibilidad de una planta tiene un efecto directo sobre el producto neto, en cuanto a sus costos.

b) Solución

Con la implementación del RCM, se consolidó una relación lineal entre la disponibilidad y la producción. La alta disponibilidad implica una alta producción, pues estaba relacionada con los bajos niveles de control, la presentación de averías en la mezcla de mantenimiento y falta de mantenimiento preventivo. El primer paso fue mejorar el mantenimiento preventivo al integrarse en

la estrategia de mantenimiento en enero de 2007. Para el desarrollo de esta etapa se implementaron los siguientes pasos:

- Descripción del Sistema, se registró un aumento en la disponibilidad a un promedio de 84 %. A través del RCM, que permitió un análisis crítico de los equipos usando FMEA. La participación de los operadores de equipos en los grupos de revisión RCM estableciendo un nivel de control estándar, así como las necesidades de funcionamiento de los equipos, garantizando así una disminución en el tiempo de inactividad.
- Establecimiento de un diagrama de bloques funcional.
- Sistema estructura del proyecto.
- Manejo del historial del equipo.

Una vez que el RCM se ha establecido, es fácil determinar en el equipo de la planta un diagnóstico crítico mediante el análisis ABC. El inventario de piezas de repuesto de mantenimiento es optimizado, reduciendo así los costos derivados de las condiciones de funcionamiento. RCM permite la planificación de todas las tareas, lo que reduce los costos de horas extras que contribuyen a los costos de mantenimiento.

c) Costos

Los gastos efectuados al mantenimiento de los equipos del horno se analizaron para diciembre de 2006 y enero de 2007, de acuerdo a su disponibilidad. Los costos de mantenimiento contribuyeron el 22,6 % y el 11,5 % de los costos totales de producción para los meses de diciembre de 2006 y enero de 2007, respectivamente. Para diciembre de 2006, los gastos de mantenimiento fueron de \$ 10, 152,022.12, en comparación con \$ 6, 184,525.58 en enero de 2007. El costo de mantenimiento de octubre 2007 a enero 2008 promediado \$ 6.000.000 al mes después de la implementación de los pasos iniciales de la CRM.

d) Recomendaciones

- El proceso de RCM es muy disciplinado y requiere de lógica: sin entrenar puede resultar difícil. La competencia y habilidades entre los miembros del equipo de RCM son insuficientes, por lo

tanto, se debe realizar un programa de formación continua. El equipo también debe estar motivado para llevar a cabo la tarea en cuestión y mejorar su interés en hacer el trabajo. Debe darse tiempo suficiente para que puedan realizar el análisis de todos los equipos con precisión.

- Se hace vital actualizar el registro de activos de mantenimiento, y el tener una política sobre los períodos de cancelación en libros de cada equipo, ya que algunos de los equipos son más difíciles y costosos de mantener que otros, y estos deben estar especificados.
- En empresas grandes es importante el considerar el enfoque de Seis Sigma, y utilizar la metodología del DMAIC: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar para conducir proyectos de mejora en las unidades.²

Caso 2 Empresa Mondragón

La entidad es una planta industrial de tamaño medio de la Corporación MONDRAGON (conocida hasta 2008 como Mondragón Corporación Cooperativa, la tercera compañía más grande de España), donde se fabrican componentes de plástico para los sectores de automoción y de electrodomésticos.

a) Problema

La empresa ha trabajado en numerosos proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación relacionados con la fiabilidad (probabilidad de que un dispositivo realice adecuadamente su función prevista a lo largo del tiempo, por lo tanto, tiempo medio entre pérdidas de función de la instalación) y mantenibilidad (Tiempo necesario para restablecer la pérdida de función de una instalación).

b) Solución

- Se implementó un control de la documentación para priorizar qué equipamiento va a ser estudiado en virtud de este procedimiento. Para este fin se utilizaron iniciativas de priorización tales como la matriz de selección ponderada. En segundo lugar, se recopiló todo el conocimiento explícito de los equipos a mantener previamente priorizados. Esta tarea incluye recopilar toda la documentación; por último, el análisis de la documentación de diseño, operación y mantenimiento realizada en este primer pasque es útil para llevar a cabo un control de la documentación.

² Cfr. Fore & Msipha, 2010

Uno de los pilares importantes implementados por la empresa fue la mejora de la planificación de cada máquina desde el inventario, se realizó un levantamiento de información histórica de cada máquina para establecer un plan de mejora y los resultados de confiabilidad de cada equipo, en la figura 1 se muestra el formato utilizado por la empresa para establecer la frecuencia de mantenimiento preventivo.

Figura 1 Formato de plan de mantenimiento

GOIZPER		MANTENIMIENTO PREVENTIVO		Num: 66D013 Nivel: 00 Fecha: 2008-XXXX Aceptado: Director de calidad Hoja 1/1		
GARANTIA DE CALIDAD		MÁQUINA: CORREA 0013				
NUM GAMA	NUM NORMA	OPERACIONES A REALIZAR	DIARIO	SEMANAL	QUINCENAL	ANUAL
1	1	Auditoria interna al automantenimiento.				
	2	Limpiar los depósitos y bombas de taladrina.				
	3	Limpia (en caso necesario sustituir) los filtros del tanque de taladrina.				
	4	Equipo de tratamiento de taladrina: Lubricar los rodamientos (6 rodamientos).				
	5	Limpiar las boyas de las macro boyas.				
	6	Mantenimiento del armario eléctrico de Correa: Si fuera necesario cambiar cables.				
	7	Comprobar y limpiar los detectores.				
	8	Lubricar las partes móviles de la máquina en general.				
	9	Lubricar la cadena del almacén de herramientas.				
	10	Lubricar el manipulador de la grúa.				
	11	Lubricar el intercambiador.				
	12	Lubricar las pinzas del manipulador.				
	13	Lubricar la cadena del manipulador.				
	14	Comprobar que la diferencia de voltaje es +/- 5% del valor nominal.				
	15	Inspección global de las partes eléctricas: masa, conectores y transformadores.				
	16	Revisión del movimiento de los ejes X,Y,Z.				

ATENCIÓN!!!!
VERIFICAR QUE LA MÁQUINA ESTÁ APAGADA MIENTRAS SE REALIZAN LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

Fuente: Unzueta-y otros (2014)

- Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo: En una segunda fase, con la ayuda de la colaboración y el esfuerzo de los técnicos y profesionales de mantenimiento, son afrontados los pasos del cuarto al séptimo del análisis del RCM (Análisis de las consecuencias, Selección de eventos de mayor impacto, acciones preventivas o predictivas para evitar la generación de un evento, y acciones alternativas). Adicionalmente, aprovechando la presencia de los técnicos, se llevó a cabo una revisión de los modos de fallo del equipamiento, incluyendo el conocimiento implícito y las experiencias de los técnicos y

profesionales de mantenimiento y operarios de producción. Una vez establecido el plan de mantenimiento, otro punto importante fue el control de las actividades programadas para esto se implementó un formato de registro de cumplimiento de las actividades por cada maquinaria y equipo (Figura 2).

Figura 2 Formato de registro de actividades de mantenimiento

GOIZPER		NORMAS DEL AUTOMANTENIMIENTO		Num.: 66D013b Nivel: 00 Fecha: 2008/XX/XX Aprobado: Director de Calidad Hoja 2 / 3
GARANTIA DE CALIDAD				
Nº Norma: 1	Nº Máquina: CORREA IGMZ0013			
NOMBRE: Desmontar y limpiar el filtro del aire del lubricador del cabezal UAD		RESPONSABLE: Operario de máquina		
HERRAMIENTAS NECESARIAS: Escalera, trapo y pistola de aire comprimido.		TIEMPO NECESARIO: ~ 10 min		
ATENCIÓN CERCIORARSE DE QUE LA MÁQUINA ESTÁ APAGADA!!!!				
OPERACIONES:		Fotos		
1. Soltar la tapa de abajo. 2. Extraer el filtro girándolo (tiene rosca). 3. Limpiar la caja protectora (con el trapo). 4. Limpiar el filtro con aire comprimido. 5. Montar todo de nuevo.
		1. Operación 2. Operación 3. Operación 4. Operación		

Fuente: Unzueta y otros (2014)

La empresa optó por el Synterprise Global Consulting (Synterprise 2004), un sistema de control de proveedores de acuerdo a las necesidades de la empresa. Este programa fue adaptado y mejorado mediante las necesidades propias de cada caso fue enviada a los proveedores: estos proveedores responden si los pedidos cumplen con los requisitos exigidos, e informan sobre la facilidad con la que responden a cada especificación (incluyendo, si es necesario, capturas de pantalla y videos).

- Desarrollo de un sistema de gestión del mantenimiento

La investigación divide este proceso en tres pasos: inicialmente se diseña el panel de mando que la empresa necesita para gestionar adecuadamente el mantenimiento. En segundo lugar, la información a recabar para implementar el panel de mando debe ser recogida en unos campos, que deberán ser plasmados en una orden de trabajo de mantenimiento, la cual deberá ser implementada en la planta, siendo continuamente actualizada y adaptada a las necesidades tanto de la dirección, como de los

técnicos y profesionales de mantenimiento y producción. Por último, una vez consolidada la forma de funcionar, es relativamente fácil automatizar el proceso adaptando las necesidades y modo de operar de las empresas.

c) Resultados

En la figura 3 se muestran los resultados de los indicadores mencionados, observándose la mejora luego de la implementación del RCM, en términos de mejora de los tiempos de respuesta para las actividades correctivas y aumento de las horas de disponibilidad por equipo, como resultados de la mejora de la planificación.

Figura 3 Resultado de indicadores de mantenimiento

Fuente: Unzueta y otros (2014)

d) Recomendaciones:

Adicionalmente, el proceso seguido podría ser válido también como un paso previo para poner en práctica un GMAO³, ya que la definición de cómo quiere funcionar el mantenimiento de una empresa se lleva a cabo antes de implantar el software.⁴

Caso 3 Planta de cloruro de sodio

El sistema más crítico dentro de una planta de cloruro de sodio es el proceso de secado para el plomo anhidra de sodio para el cual se entrega mucha energía de calor.

a) Problema

El trabajo propuesto tuvo como objetivo el estudiar y solucionar la causa fundamental de que el producto del análisis de fallos para los equipos críticos en los sistemas de vapor (calderas de tubo de fuego y bomba de alimentación) de la planta se averiarán contantemente, estos equipos fueron:

- Las calderas de tubos de humo.
- La bomba centrífuga multi - etapa.

Esto determino que el trabajo se centrase en la función de estos equipos como parte fundamental de las causas de los fallos, pero el sistema RCM se implemento para todos los equipos de la planta.

b) Solución

Una gran fuerza del sistema RCM, lo cual lo conduce a un gran beneficio es la forma en que proporciona, de manera simple, precisa y fácilmente entendida, criterios para decidir qué o cuales de las tareas proactivas son técnicamente factibles en cualquier contexto; y si es así también nos proporciona herramientas para decidir con qué frecuencia se deben de realizar y quién debe hacerlo.

Es así que se determina que sea o no una tarea proactiva, esta es técnicamente factible se rige por las características técnicas de la tarea y la probabilidad del fracaso, por otro lado, si se determina que vale la pena hacerlo se analiza si la acción se ocupa de las consecuencias del fallo de manera eficiente y duradera (Afefy 2010, p. 869). Los mecanismos para determinar si es factible o no se

³ Es un software informático para gestionar completamente un departamento de mantenimiento.

realizar de acuerdo al impacto de la acción sobre la gestión del mantenimiento hasta el fallo, impacta sobre el mantenimiento de la condición de la maquinaria o en la búsqueda de fallas originadas.

Los cálculos, producto de la información, permitieron determinar el costo del tiempo de inactividad promedio de la bomba de agua de alimentación en 20 h / año; de la caldera de tubos de humo en 30 h / año; de los auxiliares del sistema en 10 h / año. Se elaboró un programa de piezas de repuesto con los componentes principales (bomba de agua de alimentación de calderas de tubos de agua, turbina de vapor). Además de elaborar propuestas de repuestos mediante un programa de resultados que indican un ahorro de aproximadamente 22.17 % de las piezas de repuesto. (Afefy 2010, p. 868)

c) Costo

Los resultados muestran que el costo laboral disminuye desde 295200 \$ / año a 220800 \$ / año (Aproximadamente el 25,8 % del costo laboral total) con la planificación del mantenimiento preventivo propuesto. Los resultados propuestos de planificación indican un ahorro de aproximadamente 80 % del costo total de tiempo de inactividad, en comparación con el de mantenimiento actual. Los resultados muestran que aproximadamente el 22,17 % de las piezas de repuesto los costos anuales se guardan cuando se propone el mantenimiento preventivo planificar otras tareas de mantenimiento actual. Basándose en estos resultados, la aplicación del mantenimiento predictivo se debe aplicar.

d) Recomendaciones

El RCM tuvo gran impacto en las tareas de planificación, permitiendo que la frecuencia de ejecución hasta el fallo disminuya. Se recomienda llevar a cabo estas tareas de planificación y control cada año, cada seis meses y de manera mensual. A medida que aumenta la fiabilidad del sistema disminuye el costo laboral.⁵

En conclusión, los casos estudiados demuestran que el sistema RCM se basa en 3 pilares, la detección correcta de las causas de fallos de cada equipo, la importancia de monitoreo de la

⁴ Cfr. Unzueta-Aranguren et al 2014: 50

⁵ Cfr. Afefy 2010: 870

condición de cada equipo para lo cual es de ayuda los software de gestión de mantenimiento y la importancia de la prevención a través de la planificación de las actividades de mantenimiento, lo cual tiene un alto impacto en reducción de las necesidades de mano de obra, y en la aparición de fallos. Además, se muestra que el sistema es eficaz en la reducción de los gastos o costos por averías, al reducirlas en cantidad y al reducir el tiempo en que se producen.

1.2. Marco legal

1.2.1 Ley en el Perú

Existen dos tipos de tercerización: externa u outsourcing (fuera del centro de trabajo); e interna o insourcing (dentro del centro de trabajo). Esta última, ha sido regulada en el Reglamento de la Ley de Tercerización, y en estricto es la única que genera los efectos regulados por la ley.

El Reglamento establece como principales características las siguientes: **(a)** Debe recaer sobre la actividad principal de la empresa; y **(b)** De configurarse un desplazamiento continuo del personal de la empresa tercerizadora a la empresa principal, el cual debe durar al menos un tercio de los días laborables del plazo del contrato de tercerización; o bien, exceder las 420 horas o 52 días de trabajo efectivo en un semestre calendario. (Herrera, 2008)

En consecuencia, la tercerización externa u outsourcing, así como la tercerización interna sin desplazamiento continuo o insourcing a plazos, según los límites indicados quedan fuera del ámbito de aplicación de la Ley de Tercerización y su Reglamento.

La Tercerización está regulada por las siguientes normas:

- Ley N° 29245: Ley que regula los servicios de Tercerización;
- Decreto Legislativo N° 1038: Ley que precisa los alcances de la norma sobre Tercerización;
- Decreto Supremo N° 006-2008-TR: Reglamento de la Ley de Tercerización;
- Decreto Supremo N° 003-2002-TR: Artículos 4, 4-A, 4-B Y 4-C Reglamento de la Ley de Intermediación Laboral referidos a la Tercerización de Servicios y sus normas modificatorias, Decreto Supremo N° 008-2007-TR y 020-2007-TR.

- Decreto Supremo N° 010-2008-TR, que incorpora al Reglamento de la Ley de Tercerización varias disposiciones.

Anteriormente, la Ley de Intermediación Laboral, optó por dividir las actividades que se desarrollan al interior de una empresa en dos categorías: (a) actividad principal, que son aquellas que si no se ejecutan interrumpen el proceso productivo, organizativo o administrativo de una empresa, como son la exploración, explotación, transformación, producción, organización, administración, comercialización, etc.; y (b) actividades complementarias como son la vigilancia, la seguridad, las reparaciones, la mensajería externa, limpieza, entre otras. (Herrera, 2008)

En consecuencia, la normatividad actual en cuanto a la tercerización sólo es posible cuando el desplazamiento se relacione con la actividad principal, y además resulte continuo, según la definición del Reglamento, la prestación del servicio estará comprendida en la Ley de Tercerización.

La locación de servicios, ha sido definida como

"el contrato mediante el cual una parte se obliga a realizar uno o más actos lícitos no jurídicos, en beneficio de la otra, cuyo resultado cuando está pactado no importa la producción o modificación de un ente material o intelectual, obligándose la otra, a su vez, a pagar por ello un precio en dinero". (Salomón, 2010)

En la tabla 1, observamos cómo se ha efectuado la sucesión normativa en nuestro sistema a efectos de regular la tercerización, que además ha incluido el desarrollo de mayores requisitos para este tipo de contratación.

Tabla 1 Sucesión de normas sobre tercerización de servicios

SUCESIÓN DE NORMAS SOBRE TERCERIZACIÓN DE SERVICIOS		
FECHAS	TIPO DE CONTRATO	OBSERVACIONES
Antes del 21/09/2007	Netamente civil.	En este periodo no había regulación laboral, podía o no haber contrato escrito, pudiendo ser de cualquier forma interno o externo.
Del 21/09/2007 al 24/06/08	Contrato de Tercerización en caso de desplazamiento.	Incorporación de artículos a la Ley de Intermediación sobre tercerización, el contrato de tercerización debe ser escrito cuando hay desplazamiento.

Del 25/06/2008 al 13/09/2008	Contrato de Tercerización.	Ley de Tercerización que regula la solidaridad , estableciendo mayores requisitos. Es obligatorio, un contrato por escrito.
Del 13/09/2008 en adelante	Contrato de Tercerización con desplazamiento.	El Reglamento flexibiliza la ley de tercerización. La adecuación venció el 27/10/2008.

Fuente: Herrera 2008

Las obligaciones de las empresas principales según la nueva normativa de tercerización de servicios serían las establecidas en la tabla 2.

Tabla 2 Obligaciones de las empresas

OBLIGACIÓN	CONTENIDO DE LA OBLIGACIÓN	OBSERVACIONES
Derecho de Información	Comunicación sobre la identidad de la empresa tercerizadora, los trabajadores desplazados y las actividades a ser realizadas.	Esta comunicación de realizarse ante la organización sindical de la empresa, en su defecto, a los representantes de los trabajadores dentro de los 5 días siguientes al mes que en se realiza el desplazamiento o 24 horas después de la solicitud del Sindicato.
Registro Nacional de Empresas Tercerizadoras	Las empresas tercerizadoras deben cumplir con registrarse en el registro nacional de empresas tercerizadoras.	El Registro se realiza a través de la planilla electrónica, consignando quiénes forman parte del personal desplazado, solo existen registros especiales de contratistas y sub contratistas en los sectores de hidrocarburos, minería y construcción civil.
Registro de Control de Asistencia.	La empresa principal tiene que registrar la asistencia del personal de la contratista o sub contratista. [1]	Las empresas principales tienen 30 días hábiles para adecuarse a esta disposición desde la publicación de la norma. Esto vencería el día 12 de enero del 2009.
Adecuación a la Ley y el Reglamento.	Adecuación a la Ley y al Reglamento.	El plazo para adecuarse al nuevo reglamento por parte de las empresas venció el día 27 de octubre del 2008.

Fuente: Herrera 2008

1.2.2 Regulación en el sector outsourcing

Los requisitos fundamentales para que exista tercerización son:

(a) Que la tercera asuma los servicios prestados por su cuenta y riesgo,

- (b) Que cuente con recursos financieros, técnicos o materiales,
- (c) Que sea responsable por los resultados de sus actividades y
- (d) Que tenga a sus trabajadores bajo su exclusiva subordinación.

Los elementos característicos de la tercerización son:

- (a) pluralidad de clientes
- (b) contar con equipamiento
- (c) inversión de capital
- (d) retribución por obra o servicio y no por periodo. Estos sirven para verificar que exista tercerización, pero su omisión no la desnaturaliza. (Herrera, 2008)

El artículo 1º (definiciones) del Reglamento de la Ley de Tercerización, señala que no constituye una *simple provisión de personal* (ilícita), el encargo integral a terceros de actividades complementarias, con lo cual se infiere que sí podría caber el insourcing sobre actividades complementarias.⁶

Algunos opinan que el insourcing sobre actividades complementarias mencionado por la Ley de Tercerización, propiamente se encuentra regulado por la Ley de Intermediación Laboral, y no cabría una Tercerización de servicios (complementarios) ya regulados por otra ley. Asimismo, otros opinan que sí cabe efectuar una delegación integral de una actividad complementaria fuera del marco de la Ley de Intermediación, pues al no estar prohibida, y antes bien, estando inclusive contemplada por la Ley de Tercerización como un supuesto lícito, podría ubicarse fuera del ámbito de ambas regulaciones (Ley de Tercerización y normas sobre Intermediación).

Esta diversidad de criterios, responde a la falta de técnica legislativa de nuestro ordenamiento, pues lo cierto, es que debería eliminarse de la Ley de Intermediación Laboral a las actividades

⁶ Modificación establecida por el Decreto Supremo N° 010-2008-TR, que incorpora al Reglamento de la Ley de Tercerización varias disposiciones, publicado con fecha 03 de diciembre del 2008.

complementarias y especializadas, pues propiamente no son intermediación, sino tercerización de servicios. (Herrera, 2008)

Tampoco están sujetas al ámbito de aplicación de la Ley de Tercerización las labores de concesionarios o arrendatarios, debido a que éstos pagan una retribución económica a la principal para gozar de la exclusividad o ventaja de poder prestar un servicio a terceros dentro de las instalaciones de la empresa principal.⁷

La ley de tercerización en el Perú posee algunos requisitos para garantizar que las empresas participantes lleven a cabo una relación ganar - ganar, protegiendo los beneficios y las obligaciones de cada parte contractual. Tomando en cuenta que una empresa no puede tercerizar las actividades centrales de su negocio, solo las actividades de soporte como el mantenimiento, recursos humanos, etc.; en la búsqueda de la mejora de la eficiencia.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definición de mantenimiento

Los objetivos de negocio de mantenimiento están relacionados a aumentar la capacidad del proceso primario; mejorar el rendimiento del proceso primario, tales como calidad, beneficios, etc.; satisfacer los requisitos regulatorios, como la seguridad, los peligros y los estándares ambientales de manera rentable. (Gokiene, 2010, p. 136) Por otro lado la función de mantenimiento diario consiste en:

- Mantenimiento de rutina.
- Actividades de mantenimiento preventivo.
- Plan de mantenimiento predictivo.
- Personal con mentalidad proactiva.
- Actividades de mantenimiento correctivo.
- Mejora continua del mantenimiento.

⁷ Cfr. Herrera 2008

- Disminución de las paradas del mantenimiento.⁸

Figura 4 Evolución de los sistemas de gestión de mantenimiento

Fuente: Jimenez 2010

1.4.2 Mantenimiento preventivo

Con el objetivo de cumplimiento del 100 % en línea con la regla del 10 % puede mejorar significativamente sus resultados de mantenimiento preventivo, ya que optimizará la fiabilidad de los equipos y reducir los fallos del equipo, si una organización gestiona las actividades de mantenimiento preventivo de forma manual o por medio de un extenso programa de gestión de ciclo de vida del activo, siempre hay margen de mejora, incluso cuando hay cero reactivos mantenimientos. (Mays, 2015, p. 46)

Tener un programa de mantenimiento preventivo (PM) reduce las reparaciones mayores y paradas bruscas en la producción, y por lo tanto ayuda a mantener un flujo de trabajo constante. Programación y planificación de las actividades de PM han sido el interés de muchos investigadores durante un largo periodo de tiempo. (Almomani y otros 2012)

Dentro del mantenimiento preventivo como pilar de la función de mantenimiento se detalla una serie de requisitos completos que incluyen:

⁸ Cfr. Van Niekerk & Visser 2010:73

- La inspección previa a la entrega y el mantenimiento de la maquinaria pesada y sus componentes para garantizar que se conocen todas las cuestiones y rectificar antes que la maquina llega a la obra para su labor.
- Controles posteriores a la entrega en el lugar para asegurar que no hubo ningún daño durante el transporte, ya que siempre es más fácil y más seguro para llevar a cabo el trabajo.
- Asegurar que el personal de mantenimiento tiene acceso a información adecuada que les permita llevar a cabo sus tareas con seguridad y eficacia.⁹

Otro proceso importante para el control dentro del sistema es la inspección durante el mantenimiento para identificar defectos y asegurar que se rectifican, de acuerdo a la norma que menciona que:

"Cuando las inspecciones se llevan a cabo como parte del mantenimiento es importante que el personal de mantenimiento registre todos los fallos y no se omiten para registrar fallos que luego son rectificados como parte del proceso de mantenimiento. Tal enmascaramiento de fallos invalidaría el historial de la maquinaria y obstaculizaría el proceso de revisión". (Watson, 2013, p. 340)

De esta manera la principal ventaja de este tipo de mantenimiento es que se centra en mantenimiento planificado para maximizar la disponibilidad de los equipos. La política de mantenimiento preventivo consiste en secuenciar la frecuencia del mantenimiento del sistema a diferentes intervalos. Otra política es llevar a cabo el mantenimiento preventivo para mantener la fiabilidad del sistema por encima de un umbral mínimo dado por un período de producción determinado. (Schutz y otros, 2013, p. 90)

Asignación de tiempo adecuado para el mantenimiento. Las normas advierten que:

"Es esencial que el tiempo de mantenimiento está previsto en el programa de trabajo, por lo que el mantenimiento no se empuja a la parte posterior de la cola y no termina siendo llevado a cabo a toda prisa en condiciones inseguras, tales como falta de luz." (Watson, 2013, p. 341)

⁹ Cfr. Watson 2013

De hecho, las organizaciones con programas de mantenimiento preventivo de clase mundial pasan tiempo cada trimestre evaluando el estado actual del programa y determinando cómo se pueden mejorar. Una vez establecidas las mejoras, se abre las puertas para extender su programa de mantenimiento más allá de eso, integrando técnicas de mantenimiento predictivo y tecnologías. (Mays, 2015, p. 47)

1.4.3 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se inicia después de que la maquina o equipo ha fallado y está destinado a restaurarlo para que vuelva al estado original. Lo que esto significa es que cualquier maquinaria o equipo debe informarse la queja sobre la decadencia, deterioro o defectos o cualquiera de sus combinaciones. Este método es en la mayoría de los casos muy caro, y por lo general deja a los usuarios insatisfechos. A menudo conduce a un retraso en el mantenimiento, ya que los recursos disponibles son insuficientes para hacer frente a las necesidades de mantenimiento. Otra deficiencia importante de este enfoque es que se interrumpe y altera las actividades que se llevan a cabo en y al alrededor de la empresa o planta, distrayendo todas las actividades planificadas por trabajos del día a día. (Lateef, 2010, p. 204)

Es por ello que muchas veces la calidad de la reparación se ve afectada, por la necesidad de reparar rápido antes de reparar definitivamente y estas malas intervenciones de reparación devienen otras por las necesidades de producción y se crea así un círculo de roturas, que generan altos costos y baja disponibilidad. (Linares, 2012, p. 10)

Los costos de mantenimiento son uno de los mayores costos en el ciclo de vigencia de los equipos por lo que es muy difícil de estimar ellos. Esta categoría tiene algunos análisis de estimación; una de ellas es que los costos de mantenimiento se gastan durante un largo período. Así como la estimación de materiales, repuestos o mano de obra directa es por lo tanto, muy difícil calcular los costos de mantenimiento basado sobre todo en suposiciones. (Gokiene, 2010, p. 137)

Otros efectos del mantenimiento correctivo están relacionados por la baja productividad del indicador relacionado con el tiempo medio entre fallos (MTBF) que expresa la frecuencia de fallos,

ya que en el correctivo se aumentan las horas dedicadas a la reparación, la rotura o daño, el coste total de mantenimiento correctivo, debido a fallos: este valor se obtiene considerando el trabajo y los materiales empleados para la acción correctiva. (Orosa et al 2010, p. 870)

Con el mantenimiento correctivo se puede realizar una reparación efectiva, pues como el equipo se encuentra paralizado, no se requiere de una gran infraestructura, ni de personal altamente calificado y puede ser rentable si el equipo está fuera de la línea de producción. Pero si el equipo está en la línea de producción cada minuto de paralización representa una pérdida igual a la cantidad de tiempo paralizado, por el rendimiento de la fábrica, por el valor de la producción. (Linares, 2012, p. 10)

Como conclusión podemos observar que existen dos estrategias principales de mantenimiento de activos, el mantenimiento preventivo y correctivo. Cuando se comparan ambas estrategias la mayoría de los investigadores coinciden en que, pese a que el mantenimiento preventivo implica altos costos al inicio, estos se contrarrestan con los beneficios a largo plazo y los ahorros que se generan en comparación con el usual mantenimiento correctivo.

1.4.4 Sistema de gestión de mantenimiento: TPM y RCM

Muchos enfoques o estrategias de mantenimiento se han desarrollado, tales como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Mantenimiento de la Calidad Total (TQM), Mantenimiento Productivo Total (TPM), y Mantenimiento Basado en el Negocio (BCM). El enfoque más reciente es para ver todas estas estrategias como herramientas de mantenimiento; el reto es integrar su uso y aplicarlas en el lugar correcto, el orden y forma. El hecho de que ambas operaciones juegan un papel importante en el mantenimiento de los activos físicos es bien reconocido. (Van Niekerk & Visser, 2010, p. 71)

El mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) es la óptima mezcla de acciones reactivas, el tiempo, la condición, y las prácticas de mantenimiento proactivo. Esto dirigido por unas estrategias de mantenimiento, que, en lugar de aplicarse de forma independiente, se integran para aprovechar sus respectivas fortalezas con el fin de maximizar las instalaciones, fiabilidad de los equipos y

reducir al mínimo los costos del ciclo de vida. Mantenimiento productivo total (TPM), total de mantenimiento seguridad, mantenimiento preventivo, y el (RCM), y muchos otros innovadores enfoques a los problemas de mantenimiento de toda finalidad potenciar la eficacia de las máquinas para mejorar en última instancia productividad. (Afefy, 2010, p.864)

RCM

Al pasar de reaccionar, cuando el equipo falla en el mantenimiento de la maquinaria de forma proactiva a través de prácticas preventivas y predictivas, los fabricantes pueden ayudar a mitigar estos riesgos y prevenir la ocurrencia de fallas. (Mays, 2015, p. 50). En la figura 5 se muestran las 7 preguntas bases en las cuales se sostiene el sistema RCM.

Figura 5 Las 7 preguntas del RCM

- 1-¿Que o cual es la función que cumple el componente a analizar?.
Funciones y parámetros de funcionamiento.**
- 2-¿De que forma/cómo puede fallar? Por qué deja de realizar su función?.
Fallos funcionales.**
- 3-¿Qué causa el fallo?. Modos de fallo.**
- 4-¿Qué sucede/ocurre cuando falla?, ¿Qué efecto conlleva el que se produzca un fallo?. Efectos de los modos de fallo.**
- 5-¿Qué importancia o tipo de consecuencia / impacto / conlleva la ocurrencia del fallo?. Consecuencias.**
- 6-¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?. Acciones de mantenimiento proactivo.**
- 7- ¿Y si no se puede prevenir?. Acciones “a falta de”, (default tasks, other actions, lack of).**

Fuente: Afefy 2010

La filosofía RCM emplea el mantenimiento preventivo, además del mantenimiento predictivo (PdM), monitoreo en tiempo real (RTM), el tiempo hasta el fallo (RTF) y el mantenimiento proactivo como indicadores y técnicas de manera integrada para aumentar la probabilidad que una máquina o componente funcione de la forma adecuada durante su ciclo de vida útil con un mínimo de mantenimiento, el cual nos lleve a un mínimo de costos de mantenimiento. (Afefy, 2010, p.863)

También se presentan como una guía para la implementación del sistema RCM una lista de "tareas propuestas" diseñadas para asegurar que el activo sigue funcionando en el nivel de rendimiento deseado. Éstas toman tres formas:

- Los programas de mantenimiento a realizar por el departamento de mantenimiento.
- Revisado los procedimientos operativos para los operadores del activo.
- Una lista de áreas en las que se deben realizar cambios (por lo general los cambios de diseño) para hacer frente a situaciones en las que el mantenimiento no puede ayudar a que el activo para proporcionar el rendimiento deseado en su configuración actual.¹⁰

Como todo proyecto de producción, es necesario contar con una organización temporal que pueda ejecutar las etapas operativas de la implantación. En concreto, en los casos mostrados, el esfuerzo de coordinación y la ejecución técnica a tiempo completo. La implementación del RCM se realiza a lo largo de las siguientes fases:

1. Control de la documentación.
2. Análisis de los modos de fallo y sus causas.
3. Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo.
4. Desarrollo del sistema de gestión del mantenimiento.
5. Panel de mando: retroalimentación continua y resultados.

Figura 6 Principales pasos del RCM

¹⁰ Cfr. Fraser, 2014: 29

Fuente: Afefy, 2010

Pasos para la implementación del RCM

- La elección del sistema de recopilación de información. En este paso se identifica el nivel de montaje que se utiliza en el análisis, que es por lo general a nivel de sistema. También la información del sistema que será necesaria en los pasos posteriores. Que son la definición de los límites del sistema. En esta etapa los principales equipos incluidos en el sistema se identifican con los límites físicos primarios.

Fraser, (2014) nos detalla que el proceso de descripción de estados del sistema se desarrolla cinco elementos de información:

- "Descripción del sistema. En este punto en el proceso de análisis, una gran cantidad de información es recogida en relación con lo que constituye el sistema y cómo funciona.

- Diagrama de bloques funcional. El diagrama de bloques funcional es una representación de alto nivel de las principales funciones que el sistema funciona y los bloques están etiquetados como los subsistemas funcionales para el sistema.
- Las interfaces de entrada / salida. Una variedad de elementos (energía eléctrica, señales de calor, líquidos, gases, etc.) se describen como entradas o salidas del proceso.
- La historia del equipo. Para los propósitos de la RCM, el historial del equipo está asociado con fallas que se han experimentado en los últimos dos o tres años. Este historial de fallos se deriva generalmente de órdenes de trabajo que fueron escritos para realizar tareas de mantenimiento correctivo" (Fraser, 2014, p. 35)

Los fallos funcionales se definen para cada sistema funcional mediante la captura de todas las interfaces de salida. En la definición de los estados de fallo funcionales se centra en la pérdida de funciones, esto es algo más que una simple declaración de pérdida de función. (Kianfar & Kianfar, 2010, p. 360)

- Análisis del modo de fallo y de efectos. En este paso para cada falla funcional se definen los modos de fallo de componentes específicos y la causa raíz para cada modo de fallo. También la consecuencia de cada modo de fallo se define en tres niveles de consideración, a nivel de componentes, a nivel de sistema como a nivel de planta.
- Ranking de los modos de fallo. El propósito de este paso es clasificar los modos de fallo con el fin de prioridades para la asignación de los recursos de mantenimiento de la organización a los mismos. (Kianfar & Kianfar, 2010, p. 360)

Indicadores

La fiabilidad se mide aquí como el rendimiento en términos de calidad, tiempo y velocidad de reacción. Esta es la forma más común de medir la fiabilidad, en la cual se considera lo siguiente:

- El rendimiento de calidad es la más importante y se mide como el % producto de calidad dividido por total de producción.

- El rendimiento de tiempo, a menudo llamado disponibilidad, se mide como el tiempo % dividido por las horas disponibles en el mismo período de tiempo.
- El rendimiento de velocidad.¹¹

Estos cambios conducen a un programa de mantenimiento que se centra en los modos de fallo PM específicos que puedan producirse por cualquier activo físico. Por esta razón, el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y normas de funcionamiento de cada activo en su contexto operacional. En la mayoría de los casos, esto significa un registro integral de planta debe estar preparado, lo que requiere un examen muy detallado de cada activo y sus componentes individuales. (Fraser, 2014, p. 30)

Ventajas:

- Puede ser el programa de mantenimiento más eficiente.
- Reduce los costos de mantenimiento mediante la eliminación de equipo innecesario.
- Se reduce al mínimo la frecuencia de reparaciones.
- Reduce la probabilidad de fallas en los equipos repentinos.
- Se centra las actividades de mantenimiento en componentes críticos del sistema.
- Aumenta la fiabilidad de los componentes.
- Incorpora análisis de causa raíz. (Fore & Msipha, 2010, p. 220)

Desventajas:

Se puede tener costos significativos iniciales asociados con las necesidades de formación del personal y equipo. Estos costos han llevado en muchos casos a la retirada de apoyo a la gestión basada en el RCM, lo que resulta en la introducción incorrecta de RCM.¹²

Desde un punto de vista negativo RCM ha dibujado críticas en los recursos que se requieren

¹¹ Cfr. Idhammar, 2013: 34

¹² Cfr. Fore & Msipha, 2010

implementar o no están justificadas. Considerando que el RCM se centra en la mejora de las instalaciones existentes, en lugar de obtener futura planta desde el principio, lo que sólo puede lograrse mediante la retroalimentación de datos a los diseñadores. También otra deficiencia del RCM es que no prevé completo para el uso de técnicas basadas en la condición, pues se muestra negativo a hacer frente a la necesidad de datos. También cree que RCM perpetúa el mito de mantenimiento a lo largo plazo (Fraser, 2014, p. 33)

1.5 Herramientas de calidad usadas en el RCM

1.5.1 Análisis de modo y efectos de falla

El análisis de modo y efecto de fallas (AMEF) es una herramienta sistemática para evaluar los modos de fallas y las causas asociadas con los procesos de diseño y manufactura. En ella se hace una lista de los modos de falla potenciales de cada componente o sub-ensamblaje y se le asigna a cada uno una calificación numérica para la frecuencia de ocurrencia, el aspecto crítico y la probabilidad de detección. Por último, estas tres cifras se multiplican para obtener el número de prioridad de riesgo (NPR), que se utiliza para guiar el esfuerzo de diseño al problema más crítico. Los casos con los más altos valores de NPR deben ser considerados primero a fin de recomendar acciones específicas con la intención es reducir los niveles de severidad, ocurrencia y/o detección. (Maldonado & Graziani, 2007)

Cuenta con una técnica que tiene como objetivo garantizar el éxito de un proyecto, proceso o sistema teniendo en cuenta la eliminación de los factores con mayor probabilidad de fracasar dentro de un sistema y la aplicación de medidas correctivas recomendadas antes del inicio de la producción. Esta técnica aporta una peculiaridad, ya que se refiere la participación de los empleados de la organización para la preparación de análisis en torno a los proyectos y las fases de la fabricación de los productos. (Gleison y otros, 2013)

FMEA se basa en un análisis basado en el equipo de los riesgos de los posibles fallos, y se utiliza principalmente para dos aplicaciones básicas: como Diseño y Proceso. El diseño con FMEA se hace para minimizar riesgos de posibles fallos, que pueden originarse durante el uso del producto. El

FMEA de proceso hace posible minimizar los riesgos de posibles fallos, lo que se puede originar durante la realización del proceso diseñado.

El análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es popular y metodología de prevención efectiva de problemas para definir, identificar y eliminar los posibles fallos y errores de un sistema, diseño, proceso o servicio. (Tay, Jong & Lim, 2015, p. 560)

Pasos

El procedimiento de aplicación incluye el análisis FMEA de modos de fallo potenciales, la identificación de sus posibles efectos y las causas y análisis de las acciones preventivas y acciones utilizados para la detección de fallos. El riesgo de posibles fallos se evaluó a través de la prioridad de riesgo numérico (RPN), que se calcula sobre la base de la evaluación de la gravedad de la falta, probabilidad de ocurrencia y probabilidad de detección. (Vykydal et al, 2015, p.680)

La gravedad de un modo de fallo se determina sobre la base de sus efectos. La ocurrencia está dada por la probabilidad del modo de fallo que se produzca y la detección es en el caso de FMEA proceso determinado por la capacidad de detectar el modo de fallo o por la eficiencia de los existentes procedimientos de inspección. Los puntajes a la gravedad, ocurrencia y detección de cada modo de fallo con una cierta causa se multiplican para obtener la RPN. Preventivo las acciones se desarrollan e implementan para el fracaso modos con niveles de alto riesgo, como se indica por la RPN valor, para reducir su riesgo. (Vykydal et al, 2015, p.680)

La principal utilidad de FMEA es identificar el potencial modos de fallo de un sistema, entender las causas y efectos de cada modo de fallo potencial, y determinar acciones para eliminar o reducir el riesgo de modos de fallo. (Tay, Jong & Lim, 2015, p. 555)

El diseño de las acciones preventivas está conectado con la definición de las responsabilidades y plazos para la ejecución de las acciones individuales. A la última etapa, que es la evaluación de riesgos después de la implementación de las acciones, los criterios (severidad, ocurrencia, detección) se re-evaluado y el RPN se calculan de nuevo. El propósito de esta etapa es evaluar la eficiencia de las acciones, que deberían reflejarse en la reducción de los valores RPN. (Vykydal et al, 2015, p.681)

Indicador

Tradicionalmente, el riesgo de un modo de fallo se determina por computar el número de prioridad de riesgo (RPN). El modelo RPN considera tres factores como entradas, es decir, la gravedad ocurrencia (O), y detectar (D), y produce una puntuación RPN como la salida. La gravedad y la frecuencia de un modo de fallo, mientras que D es la eficacia de la existente medida en la detección de un fallo antes de que el efecto de la insuficiencia alcanza el cliente. (Tay, Jong & Lim, 2015, p. 554)

1.5.2 Árbol lógico de decisión

Los predictores más fuertes del modelo de factor de riesgo se incorporaron en un algoritmo de tipo árbol para producir un árbol de decisión para la identificación de grupos de mayor riesgo de futuras caídas. Los árboles de decisión se pueden utilizar para convertir un proceso de toma de decisiones complejas, con base a diferentes influencias de diferentes factores, en una colección de las decisiones más simples que se siguen de una manera escalonada para llegar a una conclusión final. (Rafiq *et al*, 2014, p. 876)

Los árboles de decisión, como se muestran en la figura 7, son una herramienta bien conocida para la solución de los problemas de aprendizaje basados en precedentes. El procedimiento para la construcción de una DT clásica es un proceso iterativo. Para construir un árbol de vértice interno en cada paso de iteración, se selecciona una función que mejor se ajusta un cierto criterio de ramificación. Sin embargo, si varias características satisfacen el criterio de ramificación igual o casi igual, a continuación, uno de ellos se elige al azar. Dependiendo de la función elegida, los árboles resultantes pueden diferir ampliamente en el reconocimiento de cualidades. (Genrikhov, 2014, p. 1048)

Figura 7 Ejemplo de un árbol lógico de decisión

Fuente: Genrikhov 2014

El modelo de árbol se poda en diversos grados para alterar la complejidad de la estructura final. Se elige el árbol más simplificado para facilitar la fácil aplicación e interpretación de diagrama por todos. Se hicieron cálculos de sensibilidad, especificidad y exactitud de predicción para confirmar la validez del modelo. (Rafiq *et al*, 2014, p. 877)

1.5. 3 Análisis de causa raíz (espina de pescado)

El concepto de "causa raíz", es bastante simple en teoría. El descubrimiento y la corrección de la causa de la falla que se debe eliminar (o al menos minimizar) la probabilidad de una repetición. El objetivo es encontrar y eliminar todo lo que encuentre en la raíz del proceso de fracaso. (Nailen, 2015. p. 19)

También conocido como diagrama de causa - efecto, Ishikawa Diagrama o el diagrama de 6M. A diferencia del objetivo de las técnicas presentadas anteriormente, esto tiene como objetivo clasificar los problemas en cuanto a su tipo, es decir, máquinas, mano de obra, materiales, métodos, la medición y el medio ambiente, por ejemplo, que se refiere a los apellidos: Diagrama 6M. (Gleison *et al*, 2013)

Efecto: significa un determinado resultado de la labor de la vista observada del sistema en un momento dado y en determinadas circunstancias; como resultados de impacto relacionados con el

efecto de la temperatura y el trastorno en el proceso, es evidente que el tamaño del carácter aleatorio y se puede clasificar en dos categorías principales - tanto dentro como fuera de los límites de tolerancias colocados función objetivo. (Stefanovic *et al*, 2014, p. 95)

Causa: significa un conjunto de condiciones ambientales y los procesos del sistema que resultan en un estado particular del resultado de la obra: desde el punto de vista de alcanzar el estado proyectado - efectos que tienen el tamaño de la circulación de caracteres resultante. (Stefanovic *et al*, 2014, p. 95)

Una autoridad ha definido estos tres tipos diferentes de causa raíz:

- La raíz física causa del exceso de estrés, exceso de temperatura o alta carga del rodamiento. Basándose en la búsqueda de tales causas sólo es un error común. Un distinguido médico una vez describió un problema en el diagnóstico médico la satisfacción de búsqueda la tendencia a dejar de buscar un diagnóstico una vez que encuentre algo.
- La raíz humana causa, alguien hizo algo mal. Con demasiada frecuencia, el análisis se detiene con "quién hizo qué" y no ve el problema de fondo.
- La raíz latente de causa las razones de las acciones o decisiones equivocadas. A menudo habrá más de un conjunto de ellas. Ya que representan debilidades organizativas, los analistas son propensos a dudar de tratar con ellos". (Nailen, 2015. p. 20)

Metodología

Paso 1: Definición del problema

Se define el problema donde se presentan las consecuencias, del por qué sucede las fallas de las maquinarias pesadas, realizando en conjunto los supervisores con los técnicos; así llegar a la identificación del problema raíz.

Paso 2: Identificación de la causa

Formando el problema de todas las posibles causas del problema a analizar. Es obvio que una visión general puede ser el resultado de una consecuencia, donde se realiza en grupos o equipos profesionales, donde en esta etapa recomiendan los resultados en clasificar por tipo de la causa, el modo y características relacionadas. (Stefanovic et al, 2014: 96)

Paso 3: Selección de la estructura básica

La presente etapa del análisis consiste en la selección de una determinada estructura causas - efecto. Tipo de estructura 4M o 7M pueden ser una buena base para la formación de la estructura básica del diagrama,

Paso 4: Desarrollar un diagrama

En la primera etapa, es necesario hacer ajustes del diagrama básico en caso de ocurrencia de la causa de la concentración de uno o dos grupos básicos para la generación de un diagrama equilibrado. Esto permite que se determine la visión básica sobre el efecto de ciertas causas, la necesidad de su asignación o eliminación en casos posibles fallas.¹³

Paso 5: El proceso de difusión (ramificación)

Un método de difusión se realiza a partir de la causa conectada en múltiples etapas, sin limitación, con tal de que no agote todo el análisis de las causas identificadas.

Paso 6: Análisis

Un proceso determinado, además de la orientación de las causas fundamentales de los problemas, permite, en ciertos casos, la búsqueda de la causa crítica, que es sin duda uno de los resultados más importantes de este método. Por estas razones, es necesario recoger datos con el fin de comprobar la causa más importante (más probable) y la solución de cualquier otro método adecuado (ABC o Pareto diagrama). (Stefanovic et al, 2014: 98)

¹³ Cfr. Stefanovic et al, 2014: 99

En el caso de mantenimiento

- La información sobre la cantidad de grasa a añadir se adoptó por error desde un motor diferente con diferentes requisitos. La primera respuesta podría ser el resultado de la formación inadecuada del personal.
- El horario de cierre presume que sería posible en los momentos esperados, pero los programas de producción se cambiaron.
- Esquema de lubricación no fue revisado cuando se instaló un motor de repuesto o reemplazo, que tiene una configuración diferente.
- En cada paso del análisis, las causas y condiciones adicionales aparecen. (Nailen, 2015. p. 24)

1.5. 4 Análisis de los 5 porque

El análisis de los cinco porqués fue desarrollado por Sakichi Toyoda (Ohno, 1978) para identificar las causas fundamentales de los problemas de fabricación y producción. Se trata de la transformación de un problema en una pregunta "por qué". Los participantes piensan en cinco respuestas sobre la base de sus conocimientos y la experiencia. La respuesta más posible se selecciona y se convirtió en otro "por qué". Este ciclo se repite cinco veces. El uso del método de los cinco porqués requiere una cuidadosa facilitación por personas expertas en la práctica de cuestionamiento crítico, la reflexión, en el desarrollo de contextos en los que las personas se sienten cómodos compartiendo (Kohfeldt & Langhout, 2012, p. 320)

Al preguntar en repetidas ocasiones a la pregunta "¿Por qué?" se puede pelar las capas de los síntomas que conducen a la causa raíz de un problema. A menudo, la razón aparente de un problema le llevará a otra pregunta. Aunque esta técnica se llama cinco porqués, es posible que tenga que hacer la pregunta menos o más de cinco veces antes de encontrar el problema relacionado con un problema. (Chadha, 2016, p. 49)

Algunos creen que hay cinco niveles de causas: causa y efecto, causa física, causa humana, causa sistémica y causa latente. Si la causa es física o humana, se puede corregir fácilmente. Las causas sistémicas y latentes, por el contrario, sólo pueden ser influenciados en los inicios. Sus acciones

correctivas necesitan intervenciones de alta dirección para cambiar los programas, políticas y procedimientos.

Chadha, (2016), nos indica la importancia de hacer frente a las causas latentes nivel organizativo, causas latentes son las decisiones conscientes tomadas con respecto a si hay que hacer ciertas cosas. La mayoría de las veces, estas causas no incluyen los errores de los empleados simples (como el olvido de un paso en un proceso), ni se incluyen las consecuencias de una formación inadecuada. Este tipo de problemas se descubren y se tratan cuando se comprueben las causas latentes.

CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En este capítulo se realiza el análisis de las operaciones de la empresa bajo estudio durante los primeros meses del año, con la finalidad de determinar mediante un diagnostico el principal problema que reduce la rentabilidad de la empresa y caracterizar la causa raíz que lo produce, mediante el uso de herramientas de calidad e ingeniería que nos permitan conocer y posteriormente elaborar una propuesta para la mejora de la operación.

2.1 Análisis del sector industrial

La industria especializada en la venta, alquiler de equipos y maquinaria pesada para el sector logístico, portuario, industrial, minero y de construcción. Esta industria tiene su principal valor en demostrar la calidad y rentabilidad en el proceso de operación de los equipos que comercializa y al mismo tiempo contar con representaciones de marcas reconocidas, así como contar con un stock de repuestos disponibles para dichas marcas con el fin de garantizar el servicio oportuno a sus clientes.

El comercio al por mayor, cuyo ascenso fue de 5,0%, estuvo principalmente influenciado por la expansión de la rama de venta de maquinaria, equipo y materiales que registró incremento de 8,3%, por equipos de base de datos (software) para entidades bancarias, repuestos para maquinaria pesada (tractores y grupos electrógenos), fotocopadoras, impresoras, equipo de cómputo y programas informáticos.¹⁴

Alquiler de maquinaria y equipo subió 2,9%, principalmente por alquiler de maquinaria y equipo de construcción e ingeniería dirigido al sector construcción, proyectos inmobiliarios y de

¹⁴ INEI 2016

infraestructura vial, pavimentación de pistas, carreteras y puentes; alquiler de maquinaria pesada entre ellas grúas, excavadoras, retroexcavadoras, montacargas, mezcladoras y palas mecánicas.¹⁵

En la figura 8, se muestran los resultados de la variación de las ventas de las empresas prestadoras del servicio respecto al año anterior, se obtienen de la Encuesta Mensual de Servicios Prestados a Empresas que realiza el INEI, aplicada a una muestra aproximada de 2 mil 300 empresas a nivel nacional.

Figura 8 Ventas reales del sector servicios prestados a empresas

Fuente: INEI (Encuesta Mensual de Servicios Prestados a Empresas)

Para el caso del sector de alquiler de maquinarias la actividad presenta una evolución favorable de crecimiento en todos los años, pero en el año 2015 se presentó un descenso del incremento ocurrido por la variación negativa del sector minero, principal cliente de este sector.

2.1.2 Sector Minería

En la figura 9 se muestra el retroceso que exhibió la producción de minerales e hidrocarburos en el 2014, se evidenció un 2015 con resultados más alentadores, producto de la expansión del cobre, plata y molibdeno. Con data del INEI a diciembre 2015, el sector minería e hidrocarburos registró un avance de 9.27% en contraste con lo producido durante los doce meses del 2014.

Figura 9 Evolución del PBI de la Minería

¹⁵ INEI 2016

Fuente: MINEM /Equilibrium

Podemos concluir que es esta variación negativa ha contribuido con el 1.04% de la variación en la producción total del 2015 (3.26%). Pero, gracias a la sustentación de una producción mayor de cobre, la evolución minería metálica (+15.47%) explicarían la expansión del sector, pese a haber registrado el subsector hidrocarburos una contracción de 11.47%.¹⁶

2.3 Análisis de la empresa

La empresa Servicios Generales Temasa S.R.L. ha establecido como una de las prioridades fundamentales en el servicio de alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada la fiabilidad de sus clientes. En sus operaciones Temasa posee una flota de quince unidades comprendidas entre maquinarias tipo cargador frontal, retroexcavadora, excavadora, motoniveladora, Bulldozer y minicargadores, las cuales permiten realizar la extracción de los minerales y operaciones de construcción civil de sus clientes. La falta de organización, programación y planificación de mantenimiento en estos equipos han ocasionado su inmovilidad generando como consecuencia retraso en las labores mineras y obras civiles.

¹⁶ Cfr. Equilibrium

2.3.1 Descripción de la empresa

TEMASA S.R.L., fundada el año 2002, es una empresa familiar en proceso de consolidación en el mercado peruano, dedicada al alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada para la minería e industria en general. La empresa cuenta con una planta ubicada en la ciudad de Lima donde se realiza todas las actividades para los mantenimientos de los equipos.

TEMASA brinda servicios de alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada para las mineras e industrias tales como, cargadores frontales, retroexcavadoras, excavadoras, motoniveladoras, entre otros. Para el desarrollo de este estudio se tomará el proceso de mantenimiento, dentro de este se encuentra el departamento de mantenimiento, el cual será materia de análisis del presente proyecto.

Misión

Brindar soluciones a los problemas de parada de las maquinarias mineras, presentes en los procesos de extracción de mineral en la minera Castrovirreyna y en otras industrias.

Visión

Llegar a ser un referente de larga duración en los servicios de alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada para minerías a nivel nacional y regional y ser vistos por nuestros clientes como los expertos en lo que hacemos, para lograr su absoluta preferencia.

Organización

El departamento de mantenimiento está formado por 6 personas, 2 jefes de mantenimiento, 2 supervisores y 2 técnicos mecánicos (figura 10). Los jefes son quienes planifican las actividades a realizar en dos turnos de trabajo, los supervisores apoyan en la planificación y ejecución de las actividades con las maquinarias pesadas, los técnicos son los encargados de realizar las distintas tareas de mantenimiento que pueden ser correctivas, preventivas, predictivas y pequeños mantenimientos que se requieran para los turnos de trabajo.

Figura 10 Organigrama de la empresa

Fuente: La empresa

En la figura 11 se muestran los equipos con los que la empresa presta servicio a sus clientes:

Figura 11 Equipos que prestan servicio a las mineras

Fuente: La empresa

En la figura 12 se muestran los procesos generales de la empresa, los cuales se dividen en mantenimiento y alquiler de las maquinarias, ambos procesos pasan por las mismas actividades

acerca de asesoramiento técnico, logísticas de repuestos, mantenimiento y reparación, mantenimiento preventivo y ATS, antes de la entrega del servicio.

Figura 12 Mapa de procesos de la empresa

Fuente: Elaboración propia

La empresa se caracteriza por ser una empresa peruana que realiza la venta, alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada. La empresa ofrece además diferentes servicios relacionados al sector. Cada tipo de maquinaria pesada tiene un fabricante que destaca en su producción, la empresa se caracteriza por trabajar con las más prestigiosas marcas en cuanto a fabricación de maquinarias pesadas se refiere.

La oferta diferenciada de la empresa es la especialización de maquinaria de pesada de un solo tipo de maquinarias pesadas ideales para responder a las necesidades del sector específico de minería, lo cual hace que sus operaciones sean óptimas. En el catálogo de maquinaria pesada es posible encontrar productos como montacargas, excavadoras, tractores y cargadores frontales.

Es así que la oferta de valor de la empresa radica en ofrecer soluciones al contar con maquinarias como cargadores frontales, excavadoras sobre orugas y tractores sobre orugas, maquinarias que resultan de mucha utilidad en trabajos mineros, en la figura 13 se muestra la secuencia de actividades que se realizan para la elaboración de un servicio de alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada.

Figura 13 Principales actividades del servicio

Fuente: Elaboración propia

Como parte de los servicios que ofrece Temasa, se encuentra el de alquiler de maquinaria pesada, este destaca por su oferta especializada en cuanto a tipos de maquinaria, así como por el óptimo estado de las mismas y la modernidad de las máquinas que se ofrecen, así como el precio competitivo de arrendamiento.

De la misma manera, la empresa que se especializa en el alquiler de maquinaria pesada, como parte de sus servicios ha logrado posicionarse como tal debido también al buen mantenimiento que proporciona a sus equipos, destacándose en la reparación y mantenimiento de maquinaria pesada, por trabajar con personal certificado en esta labor, así también por ofrecer a sus clientes repuestos originales acorde a las necesidades de sus maquinarias.

- Empresa Administradora Chungar S.A.C.
- Concretos Unicon
- Minera Caudalosa
- Constructora Odebrecht
- Asfáltica Especiales “Ases del Perú”
- Minera Firt (antes Minera Gloria)
- Constructora Bitumen
- Constructora T y T
- Compañía Minera Huaron S.A.
- Compañía Minera El Brocal S.A.
- Castrovirreyna Compañía Minera.
- Corporación minera Castrovirreyna unidad reliquias

La relación de la empresa Temasa que presta servicio al sector minero y obras civiles se encuentran líneas arriba con el entorno que los rodea en las comunidades y ciudades es un punto primordial para tener operaciones socialmente aceptables. Ya que todos los que laboran en la actividad minera tiene que estar involucrado en responsabilidad social en las empresas jugando un rol preponderante que va de la mano con el manejo adecuado de minera-entorno-social-cuidado del ambiente.

Para este caso las empresas con las comunidades deben estar en alianzas estratégicas con la visión de desarrollo sostenido en beneficio de la población.

2.4 Análisis del servicio de mantenimiento de maquinarias pesadas

El proceso de mantenimiento de los equipos en las cuales presta servicio la empresa, se detalla en la figura 14, el mismo empieza con los trabajos realizados, se reportan en un cuaderno de inspecciones diarios y luego se transfieren a un archivo Excel, esta actividad muchas veces se deja de lado por atender los trabajos del día a día; es decir, los reportes no siempre están actualizados esto ocasiona no tener un control adecuado de las máquinas que operan en la mina y genera parada de equipos que pueden hasta quedar inoperativos por semanas por falta de repuestos en el almacén.

Figura 14 Flujograma del proceso de mantenimiento de maquinaria

Fuente: La empresa

En el flujograma se muestra como se realiza el mantenimiento de una maquinaria de la empresa Temasa pasando por el área de mantenimiento, inicia con presupuestar el costo del mantenimiento, luego se aprueba la cotización, después se recepciona la maquinaria donde se realiza la inspección de las partes dañadas para proceder con el mantenimiento y posteriormente con los cambios de los componentes y para finalizar se realiza el pago entregando factura para contabilizar en la empresa. En la tabla 3 se muestran los principales objetivos del área de mantenimiento en la empresa y las actividades mapeadas que se relacionan en su cumplimiento.

Tabla 3 Principales objetivos del área de mantenimiento

OBJETIVOS	ACTIVIDADES PRINCIPALES
1. Asegurar la definición del Plan de Mantenimiento programado de Equipos	1. Participar en la definición de las necesidades de equipos basados en la demanda de la unidad de negocio y la capacidad instalada del parque de equipos. Adquisición y renovación de equipos

2. Asegurar la ejecución del Plan de Mantenimiento programado 3. Cumplir el Presupuesto (Gastos de Mantenimiento) 4. Asegurar la Disponibilidad Mecánica de los Equipos	2. Asegurar la definición de los Planes de Mantenimiento de todas las líneas de equipos.
	3. Asegurar que los programas de Ejecución de Mantenimiento se cumplan.
	4. Asegurar los recursos para la implementación de talleres y su equipamiento según los estándares definidos.
	5. Asegurar la mejora continua del Plan de Mantenimiento.
	6. Garantizar la disponibilidad mecánica de los equipos de la compañía
	7. Mantener actualizada la bitácora de rendimientos, consumos, incidencias y análisis de fallas.
	8. Garantizar el Cumplimiento el plan de capacitación y evaluación de los técnicos-mecánicos.
	9. Controlar el cumplimiento de las condiciones establecidas en los contratos de servicios de mantenimiento de terceros.
	10. Controlar el cumplimiento de las condiciones establecidas en los contratos de suministro de materiales y repuestos
	11. Garantizar el cumplimiento de las garantías de fabricante o servicios
	12. Negociar y obtener el mejor beneficio con los seguros ante un siniestro
	13. Cumplir el presupuesto de Mantenimiento de las líneas de equipos.

Fuente: La empresa

El área de mantenimiento tiene identificadas las maquinarias pesadas importantes de la producción, los cuales están clasificadas de acuerdo a su nivel de criticidad. Los técnicos realizan su inspección diaria, de acuerdo a reportes semanales e informan a los jefes de turno los posibles trabajos a realizar. A continuación, presentamos las fichas técnicas de los 4 tipos de equipos con los que cuenta la empresa:

Tabla 4 Ficha del estado técnico de una retroexcavadora

FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE MAQUINAS			
MARCA:	MODELO:	UBICACIÓN:	N° DE SERIE:	FECHA INC.:	FECHA TER.:
Caterpillar	420E	Obra civil	-----		
CARACTERISTICAS
MAQUINA		MOTOR			
MODELO:		MODELO:			
SERIE:		SERIE:			
MANUAL OP:	SI	MANUAL MTTO:	SI		
ESTADO TECNICO					
ESTADO TECNICO	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel				x	
Bastidor			X		
Herramienta de trabajo				x	
tren de rodaje			X		
Tren de fuerza				x	
Sistema de admision y escape			X		
Sistema de alimentacion			X		
Sistema hidraulico				x	
Sistema de lubricación		X			
Sistema de refrigeración				x	
CONCLUSIÓN		REGULAR			

Fuente: La empresa

Tabla 5 Ficha del estado técnico de la excavadora

FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE MAQUINAS			
MARCA:	MODELO:	UBICACIÓN:	N° DE SERIE:	FECHA INC.:	FECHA TER.:
Caterpillar	220D	Mina	JD2918222		
CARACTERISTICAS
MAQUINA		MOTOR			
MODELO:		MODELO:			
SERIE:		SERIE:			
MANUAL OP:	SI	MANUAL MTTO:	SI		
ESTADO TECNICO					
ESTADO TECNICO	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel				x	
Bastidor				x	
Herramienta de trabajo				x	
tren de rodaje				x	
Tren de fuerza				x	
Sistema de admision y escape				x	
Sistema de alimentacion				x	
Sistema hidraulico				x	
Sistema de lubricación				x	
Sistema de refrigeración				x	
CONCLUSIÓN		BUENO			

Fuente: La empresa

Tabla 6 Ficha del estado técnico del cargador frontal

FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE MAQUINAS			
MARCA:	MODELO:	UBICACIÓN:	N° DE SERIE:	FECHA INC.:	FECHA TER.:
Caterpillar	950H	Mina	M1G01841		
CARACTERÍSTICAS
MAQUINA		MOTOR			
MODELO:		MODELO:			
SERIE:		SERIE:			
MANUAL OP:	SI	MANUAL MTTO:	SI		
ESTADO TECNICO					
ESTADO TECNICO	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel				X	
Bastidor				X	
Herramienta de trabajo				X	
Tren de rodaje				X	
Tren de fuerza				X	
Sistema de admision y escape				X	
Sistema de alimentacion				X	
Sistema hidraulico				X	
Sistema de lubricación			X		
Sistema de refrigeración				X	
CONCLUSIÓN	BUENO				

Fuente: La empresa

Tabla 7 Ficha del estado técnico de un tractor

FICHA DEL ESTADO TÉCNICO DE MAQUINAS			
MARCA:	MODELO:	UBICACIÓN:	N° DE SERIE:	FECHA INC.:	FECHA TER.:
Caterpillar	D7T	Cantera	M1G01123		
CARACTERÍSTICAS
MAQUINA		MOTOR			
MODELO:		MODELO:			
SERIE:		SERIE:			
MANUAL OP:	SI	MANUAL MTTO:	SI		
ESTADO TECNICO					
ESTADO TECNICO	OBSOLETO	MALO	REGULAR	BUENO	
Motor Diesel				X	
Bastidor				X	
Herramienta de trabajo				X	
Tren de rodaje				X	
Tren de fuerza				X	
Sistema de admision y escape				X	
Sistema de alimentacion				X	
Sistema hidraulico				X	
Sistema de lubricación			X		
Sistema de refrigeración			X		
CONCLUSIÓN	BUENO				

Fuente: La empresa

En la figura 15 se presenta el diagrama que explica el flujo de actividades que se siguen en el proceso para efectuar un servicio de mantenimiento en la empresa Temasa.

Figura 15 Diagrama de flujo de actividades del servicio de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Diagrama de funciones del área de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Problemática

El área de mantenimiento realiza coordinaciones para la asignación de trabajos en las maquinarias reportadas por los clientes como no operativas, con esta información el jefe en coordinación con los supervisores asigna los trabajos. En lo que va del año 2016, las diversas maquinarias en alquiler para los clientes se presentan los indicadores de mantenimiento indicados en la tabla 8, siendo el principal problema la baja utilización de las maquinarias en un nivel de 45 %, siendo de acuerdo al benchmark de empresas de la competencia un nivel de 90 % el ideal, los demás ítems como la operatividad y disponibilidad mecánica cercanos a las metas del benchmark.

Tabla 8 Indicadores de mantenimiento año 2016

EQUIPOS DE CARGUIO		HORAS CALENDARIO	HORAS TRABAJADAS	DEMORAS (HORAS)			INDICES OPERATIVOS %		INDICE DE MANTENIMIENTO %		
CODIGO	Horas de Equipo			OPERATIVAS + STAND BY	MECANICAS PROGRAMADAS	MECANICAS IMPREVISTAS	UTILIZACION	OPERATIVIDAD	DISPONIB. MECANICA	MTTR	MTBF
EX-00014	11,310	720	336	369	12	2.9	48%	96%	97.9%	0.8	67.7
CF-E1002	5,541	720	271	377	70	2.2	42%	79%	89.9%	6.0	69.0
TOTAL CARGUIO		1440	606	746	83	5	45%	87%	93.9%	3.4	68.3
BENCHMARK							90%	80%	90%	5.0	70.0

Fuente: La empresa

Para el caso del tractor, se presentan los indicadores de mantenimiento resultados en el año 2015 en la tabla 9, siendo las principales las paradas ocasionadas por fallas mecánicas imprevistas o no programadas.

Tabla 9 Indicadores de mantenimiento del tractor

TRACTORES		HORAS CALENDARIO	HORAS TRABAJADAS	DEMORAS (HORAS)			INDICES OPERATIVOS %		INDICE DE MANTENIMIENTO %		
CODIGO	Horas de Equipo			OPERATIVAS + STAND BY	MECANICAS PROGRAMADAS	MECANICAS IMPREVISTAS	UTILIZACION	OPERATIVIDAD	DISPONIB. MECANICA	MTTR	MTBF
TO-00021	3,806	720	287	420	7.2	5.4	41%	96%	98.3%	1.0	72.3
TOTAL TRACTOR		720	287	420	7	5	41%	96%	98.3%	1.0	72.3
BENCHMARK							90%	85%	92.0%	5	70

Fuente: La empresa

En la tabla 10, se muestra el formato (Hoja de verificación) usada para recoger los datos de rendimiento de la empresa, como mostramos anteriormente la utilización de las maquinarias en la empresa es más baja a las metas del área de mantenimiento, lo cual se sustenta en lo recogido por los reportes de rendimiento que presentan un nivel de disponibilidad de las maquinarias por debajo del 60 %.

Tabla 10 Formato de reporte de rendimientos de maquinarias

PROBLEMA DE RENDIMIENTO DE MAQUINARIAS					
MAQUINARIA	PLACA	HORAS DE OPERACIÓN	Horas min	Horas de paradas	DISPONIBILIDAD
Cargador frontal	AH-F1002	673.60	5.9	72.32	50%
Retroexcavadora	RS-F1001	24.70	5.9	754.00	65%
Cargador frontal	BC-F1001	309.75	5.9	342.00	48%
1021.Excavadora sobre orugas	EX-F1002	667.95	5.9	31.00	59%
1021.Minicargador	MC-F1001	758.28	5.9	345.00	49%
1021.Retroexcavadora	RE-F1001	570.04	5.9	234.00	59%

Fuente: La empresa

En la tabla 11, se muestra a detalle los resultados de disponibilidad mensual de todas las maquinas en los 12 meses, comprobando que existe una fuerte variabilidad en los resultados con meses en los cuales se ha logrado un 100 % de cumplimiento de la meta de disponibilidad y otros meses que se ha logrado menos del 60 %.

Tabla 11 Resultados de disponibilidad mensual de las maquinarias

	Set	Oct	Nov	Dic	Set	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
TARGET MENSUAL	92.3%	91.1%	84.4%	90.8%	86.7%	73.5%	86.7%	86.0%	79.0%	92.3%	88.1%	94.1%
Disponib. Mecánica Acum.	100%	61.1%	60.5%	98.2%	72.1%	55.0%	42%	82.4%	100.0%	97.6%	43.2%	49.7%
Horas para parar en Mes	57.3	132.3	1742.6	68.4	98.7	394.7	98.7	312.6	156.2	57.3	177.3	87.8
Horas de parada a la fecha	1.5	485.8	3697.6	11.5	174.4	561.1	359.8	329.6	0.0	14.9	708.5	627.8
Horas restantes para parar	55.8	-353.5	-1955.0	57.0	-75.7	-166.4	-261.1	-17.0	156.2	42.4	-531.1	-540.0

Fuente: La empresa

Para profundizar en el problema se presentan los resultados de disponibilidad por tipo de maquinaria, en la figura 17 se muestran los resultados mensuales del cargador frontal. El cual tiene

como meta de disponibilidad lograr un 92.3 %, pero en lo que va del año tiene solo un 81.4 % de disponibilidad, por eso es un indicador en rojo.

Figura 17 Resultados de disponibilidad del cargador frontal

Fuente: La empresa

En la figura 18 se muestran los resultados mensuales de la máquina retroexcavadora, la cual tiene como meta de disponibilidad lograr un 88.1 %, pero en lo que va del año tiene solo un 72 % de disponibilidad, por eso es un indicador en rojo.

Figura 18 Resultados de disponibilidad de la retroexcavadora

Fuente: La empresa

Fuente: La empresa

En la figura 19 se muestran los resultados mensuales de la máquina excavadora, la cual tiene como meta de disponibilidad lograr un 94.1 %, pero en lo que va del año tiene solo un 45 % de disponibilidad, por eso es un indicador en rojo.

Figura 19 Resultados de disponibilidad de la excavadora

Fuente: La empresa

Fuente: La empresa

En la figura 20 se muestran los resultados mensuales del tractor, el cual tiene como meta de disponibilidad lograr un 86 %, pero en lo que va del año tiene solo un 42 % de disponibilidad, por eso es un indicador en rojo.

Figura 20 Resultados de disponibilidad del tractor

Fuente: La empresa

Fuente: La empresa

2.5 Determinación del problema

La empresa TEMASA durante el año 2016 no ha tenido éxito en el cumplimiento del objetivo de lograr la disponibilidad de sus maquinarias que presta servicios a sus clientes. Para determinar el problema relacionado con este bajo nivel de utilización y disponibilidad de las maquinarias, se elabora el registro de actividad de las maquinas presentado en la tabla 12 como informe de fallas.

Tabla 12 Informe de fallas

Informe de Códigos de Falla													
Rango de Fechas del Informe													
01/09/12 - 12/10/12													
ID del Bien	Número de Serie	Año	Modelo	Marca/Modelo	Familia de Productos	Tipo	Código	Fuente	Gravedad	Instalado	Fecha del Código de Falla	Nota	ión del
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Diagnostics	CID:623 FMI:3	Transmisión 928	Medium	3	01/10/12 16:06 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Diagnostics	CID:623 FMI:3	Transmisión 928	Medium	2	27/09/12 11:24 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Diagnostics	CID:350 FMI:13	Implemento	Medium	1	17/09/12 15:36 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Diagnostics	CID:96 FMI:3	Sistema de monitor	Medium	3	06/09/12 16:10 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Diagnostics	CID:96 FMI:3	Sistema de monitor	Medium	2	06/09/12 10:15 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Event	EID:49	Transmisión 928	Low	31	01/10/12 15:52 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Event	EID:49	Transmisión 928	Low	27	01/10/12 11:09 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Event	EID:49	Transmisión 928	Low	7	29/09/12 10:15 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Event	EID:49	Transmisión 928	Low	5	27/09/12 14:48 MDT	-	N/A	0
CM24943	RYF00383	-2010	CAT 966H	WHEEL LOADERS	Event	EID:49	Transmisión 928	Low	1	27/09/12 07:50 MDT	-	N/A	0

Fuente: Elaboración propia basada en Temasa.

En estos casos en los registros no se toma en cuenta si es una actividad correctiva, preventiva o de alguna mejora en la infraestructura. Se puede apreciar que de alguna manera se realiza un mantenimiento preventivo basado en inspección. Sin embargo, no se cuenta con un plan adecuado

que planifique y programe las tareas considerando frecuencias establecidas, lo cual produce la presentación de paradas no programadas de los equipos, lo cual afecta directamente su utilización. En la tabla 13 se muestra el formato de check list que nos sirve para la verificación y el registro de la duración de los trabajos realizados por las maquinarias.

Tabla 13 Check list de control de tiempos de trabajo primer trimestre

CARTILLA DE CONTROL DE HORAS DE TRABAJO MENSUAL								
DIA					NOCHE			
FECHA	N° Reporte	HOROMETRO		TOTAL	N° Reporte	HOROMETRO		TOTAL
		Ingreso	Salida			Ingreso	Salida	
25/04/2010	30	18919.3	18927.3	8.00				
26/04/2010	31	18927.9	18935.9	8.00	32	18936	18946.2	10.20
27/04/2010	33	18946.4	18957.1	10.70	34	18957.1	18960.5	3.40
28/04/2010	35	18960.6	18969.6	9.00	36	18969.6	18979.8	10.20
29/04/2010	37	18979.9	18986.6	6.70				0.00
02/05/2010	38	18986.7	18997.5	10.80				0.00
03/05/2010	39	18997.5	19005.6	8.10	40	19005.7	19015	9.30
04/05/2010	42	19015	19023.4	8.40	43	19023.5	19033.1	9.60
05/05/2010	47	19033.2	19038.6	5.40	45	19039.7	19044.3	4.60
06/05/2010	48	19044.3	19052.2	8.00	50	19052.5	19058.8	6.30
07/05/2010	9774	3312.4	3321.8	9.40	319	19067	19076.1	9.10
08/05/2010	321	19076.1	19081.8	5.70	322	19082	19088.2	6.20
09/05/2010				0.00	325	19097.2	19106.2	9.00
10/05/2010	326	19106.3	19110.9	4.60				0.00
11/05/2010	327	19111.6	19121.2	9.60				0.00
12/05/2010	329	19121.5	19129.8	8.30				0.00
13/05/2010	330	19130.1	19132.8	2.70	331	19132.9	19138.5	5.40
14/05/2010	334	19138.8	19151.5	12.70				
15/05/2010	335	19151.8	19153.8	2.00				
18/05/2010	337	19155.5	19160.8	5.30				
19/05/2010	338	191609	19171.3	9.40	339	19171.4	19179.4	8.00
20/05/2010	340	19179.4	19188.4	9.00	341	19188.5	19197	8.50
21/05/2010	342	19197.1	19205.4	8.40	343	19205.6	19213.6	8.00
22/05/2010	345	19213.6	19220.9	7.30	346	19221	19230	9.00
23/05/2010	348	19230.1	19239.4	9.30	349	19239.5	19245.7	6.20
24/05/2010	351	19245.8	19255.2	9.40	352	19255.2	19265.2	10.00
25/05/2010				0.00				0.00
				196.20	133			

Fuente: Elaboración propia

Analizando la información del uso de la maquinarias presentadas durante el primer trimestre del 2016, se presentan en total un promedio de 329 horas de paradas de las maquinarias, las cuales salen fuera de la disponibilidad para prestar servicios a los clientes, en la tabla 14 se presenta el resumen de las horas paradas por tipo de maquinaria del primer trimestre del año.

Tabla 14 Informe de fallas primer trimestre

Tipo de maquinaria	Paradas no programadas (Horas)	Paradas programadas (Horas)	Total
<i>Retroexcavadora</i>	123	66	190
<i>Excavadora</i>	137	58	196
<i>Cargador frontal</i>	121	74	196
<i>Tractor</i>	107	35	143

Fuente: La empresa

La misma información fue tomada como una evaluación para determinar los tiempos promedio que duran las paradas presentadas durante el 2016 por las maquinarias en obra del cliente, esta evaluación se realizó utilizando un formato check list presentado en la tabla 15.

Tabla 15 Check list de control de tiempos de trabajo segundo trimestre

CARILLA DE CONTROL DE HORAS DE TRABAJO MENSUAL								
DIA					NOCHE			
FECHA	N° Reporte	HOROMETRO		TOTAL	N° Reporte	HOROMETRO		TOTAL
		Ingreso	Salida			Ingreso	Salida	
25/03/2010	211	18417.5	18426.2	8.70	212	18426.3	18433.4	7.10
26/03/2010	213	18433.5	18442.6	9.10	214	18442.6	18451	9.40
27/03/2010	200	18451.1	18460.3	9.20	216	18460.3	18468.7	8.40
28/03/2010	217	18468.8	18478.5	9.70	218	18478.6	18487.3	8.70
29/03/2010	219	18487.4	18496.2	8.8	220	18496.3	18504.4	8.10
30/03/2010	221	18504.5	18512.5	8.00	222	18512.6	18520.8	8.20
31/03/2010	223	18520.8	18529.5	8.70	224	18529.6	18536.7	7.10
01/04/2010	225	18536.8	18546.9	10.10	226	18547	18553.7	6.70
02/04/2010	227	18553.8	18564	10.20	228	18564.1	18571.7	7.60
03/04/2010	229	18571.8	18580.8	9.00	230	18580.9	18589.5	8.60
04/04/2010	231	18589.6	18599.5	9.90	232	18599.6	18609.7	10.10
05/04/2010	233	18609.8	18619.5	9.70	234	18619.6	18628.7	9.10
06/04/2010	235	18628.8	18638.6	9.80	236	18638.7	18646.7	8.00
07/04/2010	237	18646.8	18656.8	10.00	238	18656.8	18665.9	9.10
08/04/2010	239	18666	18676	10.00	240	18676	18685.6	9.60
09/04/2010	241	18685.7	18695	9.30	242	18695.1	18705.9	10.80
10/04/2010	243	18706	18715.9	9.90	244	18716	18726.2	10.20
11/04/2010	245	18726.3	18734.8	8.50	246	18734.9	18742.9	8.00
12/04/2010	247	18743	18752	9.00	248	18752.1	18760.1	8.00
13/04/2010	249	18760.2	18768.3	8.10	250	18768.4	18778.4	10.00
14/04/2010	5	18778.5	18788	9.50	6	18788.1	18798.6	10.50
15/04/2010	7	18798.7	18808.4	9.70	8	18808.5	18817.5	9.00
16/04/2010	9	18817.6	18826.7	9.10				0.00
17/04/2010				0.00				0.00
18/04/2010	14	18826.8	18834.4	7.60	17	18834.5	18837.5	3.00
19/04/2010	18	18837.5	18844.9	7.40	19	18845	18850.5	5.50
20/04/2010	20	18850.6	18860.8	10.20	21	18860.9	18868.3	7.40
21/04/2010	22	18868.4	18877.2	8.80	23	18877.3	18884.4	7.10
22/04/2010	25	18884.5	18894.5	10.00	26	18894.6	18901.6	7.00
23/04/2010	27	18901.7	18911.6	9.90	28	18911.7	18915	3.30
24/04/2010	29	18915.1	18919.3	4.20				
				272.10	225.6			

Fuente: La empresa

En la tabla 16 se muestra el total de trabajos realizados en el segundo trimestre del 2016, en el cual se muestra que el número de paradas de las maquinaria es en promedio 272 horas.

Tabla 16 Informe de fallas segundo trimestre

Tipo de maquinaria	Paradas no programadas (Horas)	Paradas programadas (Horas)	Total
<i>Retroexcavadora</i>	178	96	275
<i>Excavadora</i>	164	71	235
<i>Cargador frontal</i>	159	98	257
<i>Tractor</i>	213	71	284

Fuente: La empresa

Dentro del diagnóstico de las paradas de mantenimiento realizadas en la empresa, se realiza la diferenciación entre las paradas programadas y las paradas no programadas, desde el punto de vista del cliente las paradas no programadas tienen un impacto negativo pues reduce la satisfacción del cliente por la poca fiabilidad del trabajo de las maquinas alquiladas. Desde el punto de vista de los costos también tiene un impacto negativo pues incrementa los costos al tener poco planeamiento de las actividades, de los recursos y los repuestos de la empresa. En las siguientes figuras se presenta cuanto representan las paradas programadas y las no programadas por tipo de maquinaria.

Figura 21 Paradas de la retroexcavadora

Fuente: La empresa

Figura 22 Paradas de la Excavadora

Fuente: La empresa

Se puede apreciar que para todas las maquinarias de la empresa el total de paradas programadas es menor al total de paradas no programadas. Las paradas no programadas representan el 65 % de las paradas en el caso de las retroexcavadoras, el 70 % de las paradas en el caso de las Excavadoras, el 62 % de las paradas en el caso de los cargadores frontales y el 75 % de las paradas en el caso de los tractores.

Figura 23 Paradas del cargador frontal

Fuente: La empresa

Figura 24 Paradas del tractor

Fuente: La empresa

Esto nos muestra en conclusión que la mayoría de los trabajos realizados por la empresa están compuesto por trabajos no programados, lo cual tiene un impacto en los costos, en la figura 25 se muestra el total de horas gastadas en promedio en paradas no programadas en el primer y segundo semestre el año.

Esto nos permite visualizar que existen un aumento en el número de horas utilizadas en paradas no programadas en el servicio de mantenimiento de la maquinaria pesadas de la empresa, ya que en el primer trimestre las paradas no programadas eran el promedio 122 horas por tipo de maquinaria y en el segundo semestre aumentó a 178 horas utilizadas en paradas no programadas.

Figura 25 Horas de paradas no programadas por trimestre

Fuente: Elaboración propia

Podemos concluir que la empresa TEMASA tiene un problema de paradas no programadas que tienen efectos afectan la disponibilidad y operatividad de las maquinarias, al tener paradas las maquinarias pesadas por un largo periodo de tiempo. También las paradas no programadas tienen un impacto afectando la economía de la empresa. En la tabla 17 se muestra el impacto económico producido por las paradas no programadas de las maquinarias, las cuales llegan a ascender a 70, 416 dólares por año.

Tabla 17 Costo de hora perdida

Pérdidas por tiempo de parada de máquinas por mantenimiento correctivo	18 días x 24 hora = 432 horas
Facturación anual por 4 maquinas	USD. 3.500.000
Días trabajados anuales	288 días
Pérdida por hora de maquina	$3.500.000/4 \text{ máquinas}/288 \text{ días}/24\text{horas} = 126.5$
Pérdida por hora de maquina por mantenimiento correctivo	USD. 127.00

Horas involucradas en el mantenimiento correctivo anual	Pérdida por hora parada maquina USD
432	163
Costo anual USD	70,416

Fuente: Elaboración propia

2.6 Determinación de las causas

Para la investigación de las causas de la aparición de paradas no programadas se utilizará información histórica documentada por la empresa. Esta información se aplica para la recopilación de indicadores históricos, lo que nos permite establecer una línea de tiempo y saber parte el problema. Así para determinar las causas que ocasionan la presentación de paradas de las maquinarias en obras de los clientes, se realiza un análisis de causa y efecto relacionadas con la presentación de paradas, el cual se muestra en la figura 26.

Figura 26 Análisis de causa y efecto de las paradas de maquinaria

Fuente: Elaboración propia

Para comprobar la identificación de las causas de las paradas no programadas de las maquinarias, se usa el registro de paradas mostrado en la tabla 18, donde se anota el equipo, la fecha de presentación, la descripción del motivo y las horas de duración.

Tabla 18 Registro de motivo de paradas

<i>EQUIPO</i>	<i>Fecha de Parada</i>	<i>Descripción de Parada</i>	<i>Horas de Parada</i>
CF-E1002: 966H	12/23/2015 15:30	7214-PM 500 Hr	65

EX-00014: 374DL	11/2/2015 10:00	Reparación de líneas de engrase automático y limpieza	5
EX-00014: 374DL	11/21/2015 16:30	Fuga de refrigerante por manguera de radiador + Rotura de manguera hidráulica principal	4.5
EX-00014: 374DL	12/5/2015 8:00	7213.0.PM.0 250 HRS (PM1)	3
EX-00014: 374DL	12/11/2015 12:30	Cambio de manguera hidráulica de pilotaje + Cambio de protector lateral de bucket	1.75
EX-00014: 374DL	12/26/2015 7:30	Relleno de aceite hidráulico	1.5

Fuente: La empresa

2.6.1 Elaboración de la determinación de causas

En la tabla 19 se muestra la data sobre las causas de las paradas registradas en la empresa en el 2016:

Tabla 19 Causas de paradas no programadas

Nº	Motivos	Frecuencia	% Participación	% Acumulado
1	Desgaste en el sistema de motor	70	11%	11%
2	Desgaste en el sistema hidráulico	65	10%	22%
3	Desgaste en el sistema de transmisión	50	8%	30%
4	Sistema de mandos finales	56	9%	39%
5	Tensión de bastidores	56	9%	48%
6	Desgaste en los pines	56	9%	57%
7	Mal estado de niveles de filtros	35	6%	62%
8	Filtros en mal estado	33	5%	67%
9	Falta de elementos de corte	30	5%	72%
10	Mangueras y tuberías obstruidas	28	4%	77%
11	Desgaste de neumáticos	25	4%	81%
12	Sistema de transmisión	20	3%	84%
13	Falta de herramientas de corte	20	3%	87%
14	Presencia de elementos externos	20	3%	90%
15	Averías en accesorios de cucharón	15	2%	93%
16	Falta de lubricación	12	2%	95%
17	Indicadores y manómetros	10	2%	96%
18	Indicadores de combustible y refrigerante	10	2%	98%
19	Falta de pintura, luces y señalización	8	1%	99%

20	Falta de limpieza general	5	1%	100%
Total		624	100%	

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se muestra el diagrama de Pareto de las principales causas de paradas no programadas, que nos permite determinar que son 7 las causas que el 80 % de las paradas, siendo las principales la presencia de desgaste de diversos componentes de la maquinaria.

Figura 27 Diagrama de Pareto de causas de paradas

Fuente: Elaboración propia

2.6.1 Determinación de la causa raíz

Los tres motivos más repetidos dentro de las causas determinadas en el análisis de Pareto están relacionados con los desgastes de los componentes en distintos elementos de las maquinarias como los motores, los sistemas hidráulicos y la transmisión. En la figura 29, se presenta un gráfico de control del número de desgastes registrados por semanas en la maquinarias durante el último año.

Figura 28 Gráfico de control de número de desgastes registradas

Fuente: Elaboración propia

Se demuestra que el número de desgastes dentro del proceso de mantenimiento presentados por semana, se encuentra actualmente fuera de control, ya que se presentan más de 15 desgastes por semana, siendo el promedio 11 desgastes por semana, cuando la meta que tiene la empresa está cerca de 5 desgastes por semana, para las cuales se programan las actividades, se gestionan los equipos, etc. Se elaboró un Check list de diagnóstico de cada maquinaria (Tabla 20) de todos los desgastes presentadas en el último mes, en donde se relaciona la aparición de los desgastes al uso de distintos repuestos en mal estado o no compatibles.

Tabla 20 Check list de diagnóstico de desgastes

Análisis de Desgastes		
EQUIPO	PARTES OK (%)	ESTADO	OBSERVACION
RETROEXCAVADORA 420E	80	REGULAR	Las fallas se presentan en los niveles de aceite
RETROEXCAVADORA 420E	70	REGULAR	ajuste en el sistema hidraulico
RETROEXCAVADORA 420D	68	MALO	filtros en mal estado
RETROEXCAVADORA 420D	74	MALO	presión de llantas
EXCAVADORA 220D	69	MALO	filtros en mal estado
EXCAVADORA 220D	80	MALO	fugas hidraulicas
EXCAVADORA 320C	60	MALO	filtros y escape en mal estado
EXCAVADORA 320DL	78	MALO	falta de accesorios electricos en la cabina
EXCAVADORA 320DL	75	MALO	cucharon en mal estado
CARGADOR FRONTAL 966H	80	MALO	neumaticos en mal estado
CARGADOR FRONTAL 966H	70	MALO	fugas hidraulicas
CARGADOR FRONTAL 966H	80	MALO	culata rajada
CARGADOR FRONTAL 966H	76	MALO	necesidad de mantenimiento basico en el motor
CARGADOR FRONTAL 966H	77	MALO	descaste de cuchilla
BULLDOZER D7T	80	MALO	ajuste en el sistema hidraulico
BULLDOZER D7T	90	MALO	carriles en mal estado

Fuente: Elaboración propia

Esta evaluación nos permite determinar que los repuestos usados para la reparación de las maquinarias se encuentran en diferentes estados, siendo regular y malo los más frecuentes (Tabla 24).

Tabla 21 Condición de los repuestos

MAQUINA PESADA	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
BUENOS	0	0
REGULAR	4	19.04
MALO	12	80.96
TOTAL	16	100

Fuente: Elaboración propia

A partir del mismo Check list, se identificaron los principales motivos para el uso de repuestos no adecuados, siendo la falta de mantenimiento preventivo la razón más reportada por el personal de mantenimiento, reportándose en un 12 % de los casos (figura 30)

Figura 29 Causas relacionadas con la falta de repuestos

Fuente: La empresa

Verificando la información reportada por el personal de mantenimiento, se detalló que solo el 25 % de los programas de mantenimiento preventivo realizados se llegaron a cumplir durante el año 2016, lo cual impide la verificación de estado de las maquinarias y de los repuestos, y no permite programar la adquisición de repuestos nuevos (figura 30).

Figura 30 Cumplimiento del programa de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Las causas identificadas son las siguientes:

- Trabajos mal planificados: El área de mantenimiento no cumple con el mantenimiento preventivo de maquinarias y repuestos, por esta razón, que existe mayor cantidad de trabajos correctivos lo cual conlleva a que los costos de mantenimiento se eleven.
- No existe almacén de repuestos: La empresa no cuenta con un almacén de materiales y repuestos. Esto origina que se pierda tiempo al momento de realizar los trabajos de mantenimiento.

En los puntos anteriores, se mencionó que los desgastes son las causa más probables que ocasionan paradas no programadas en las maquinarias, analizando la causa raíz (Tabla 25) mediante la metodología de los 5 porque, llegamos a la conclusión que el área de mantenimiento de la empresa no cuenta con un sistema que gestione de manera preventiva la condición de las maquinarias y equipos de la empresa, produciendo que se presenten paradas no programadas en exceso; lo cual reduce la disponibilidad de uso de las maquinarias y toma todo el tiempo del personal de mantenimiento en resolver las paradas. Entonces la gestión de mantenimiento ha entrado a un ciclo vicioso en donde no se cumplen los programas de verificación preventivos, los cuales causan las

paradas que ocupan más tiempo al personal y no les permite usar este tiempo en actividades preventivas.

Tabla 22 Análisis de los 5 ¿Por qué?

	Causas	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?
Exceso de paradas en maquinarias	Excesos de desgaste en el sistema de motor, hidráulico y transmisión perjudicando los distintos componentes de las maquinarias	Uso de repuestos no adecuados	Falta de verificación de las condiciones de las maquinarias y repuestos	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo	No existe un sistema que garantice la prevención del mantenimiento	Falta de un sistema de gestión de mantenimiento confiable

Fuente: Elaboración propia

Del análisis podemos determinar como causa raíz del exceso de paradas no programadas de las maquinarias está relacionada con la falta de un sistema de gestión de mantenimiento confiable, que controle los estados de las maquinarias, la función de mantenimiento preventivo y la comunicación de las fallas de manera adecuada para las actividades de mantenimiento.

Resumen de la problemática de la empresa

En la figura 31 se muestra el resumen de la problemática de la empresa, en el cual se refleja el principal problema que ha afectado la utilidad de la empresa en el 2016: Las paradas de la maquinaria durante el servicio a los clientes de minería.

Figura 31: Diagrama de árbol de la problemática de la empresa

De acuerdo a esta información las causas directas de la problemática se relaciona con los excesos de desgaste en el sistema de motor, hidráulico y transmisión perjudicando los distintos componentes de las maquinarias; además del uso de repuestos no adecuados.

Con la implementación de una herramienta de mejora de los procesos se pretende levantar las causas raíces de la problemática identificadas en el diagrama de árbol; por lo que la implementación debe trabajar en reducir la falta de verificación de las condiciones de las maquinarias y repuestos, la falta de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, la falta de un sistema que garantice la prevención del mantenimiento a través de la implementación de un sistema de gestión de mantenimiento confiable para las operaciones de la empresa.

Selección de la estrategia

Para seleccionar la mejor metodología para solucionar la causa raíz, y con ello tener un impacto positivo en el problema de la empresa TEMASA, se realiza un análisis de la mejor estrategia o metodología para elaborar la propuesta de mejora. En la tabla 26 se muestran las escalas de calificación que se utilizarán para el análisis.

Tabla 23: Escala de calificación

ESCALA DE CALIFICACIÓN	
1	No cumple con ningún requisito para eliminar el problema No se recomienda como alternativa para el problema en estudio
2	Cumple parcialmente con los requisitos para solucionar el problema Puede ser considerado como alternativa para solucionar el problema
3	Cumple con la totalidad de los requisitos necesarios para solucionar el problema Es altamente recomendable como alternativa de solución del problema en estudio

Fuente: Elaboración propia

Para seleccionar la estrategia de producción que mejor se adapte a la situación de la empresa bajo estudio se ha utilizado la matriz de evaluación de metodología de producción utilizando las causas que producen las paradas de máquinas, en la tabla 27, se muestra la evaluación de las metodologías evaluadas compuestas por el sistema de mantenimiento basado en el TPM (Mantenimiento Productivo Total) y el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad), de acuerdo a su impacto teórico en las causas determinadas.

Tabla 24: Selección de estrategia para el área de Mantenimiento

ITEM	Causas de paradas	Según Pareto - Magnitud	RCM	TPM
			CALIFICACION DEL 1 AL 3	
1	Desgaste en el sistema de motor	15.00%	3	3

2	Desgaste en el sistema hidráulico	13.00%	3	1
3	Desgaste en el sistema de transmisión	9.00%	1	1
RESULTADO			0.93	0.67

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la evaluación, el sistema RCM de acuerdo a su impacto en las características de control de los procesos de planificación, el uso del método de análisis de modos y fallos (AMEF) y su concentración en la resolución de las fallas desde su causa raíz para devolverle la confiabilidad a las maquinas, es el método que tendrá un mayor impacto en la aparición de los desgastes con 0.93 de calificación en la evaluación es el RCM, frente a un 0. 67 del TPM.

Teniendo como situación actual en la empresa Temasa el problema descrito, el objetivo de la presente investigación es comprobar la eficacia de un sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) sobre el aumento de la disponibilidad de maquinarias pesadas, a través del uso de su principio de prevención de la aparición de fallas¹⁷ (que en nuestro caso serían las paradas). Esto se logrará a través de los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar programa de gestión de mantenimiento en base al sistema RCM.
- Realizar el AMEF (análisis del modo y efecto de falla), de las fallas presentadas.
- Evaluar los efectos del sistema en los resultados de disponibilidad, paradas no programadas, presentación de fugas del programa.

¹⁷ Cfr. Genrikhoy 2014

CAPITULO 3. METODOLOGÍA SOLUCIÓN AL PROBLEMA

3.1 Elección de la metodología

En la tabla 28, se muestra la elaboración de una matriz de proceso de jerarquía analítica, este método se utiliza para evaluar bajo los mismos factores las 2 metodologías que se utilizan específicamente para la mejora del proceso de mantenimiento en las empresas: El TPM y el RCM.

Tabla 25: Matriz de proceso de jerarquía analítica

Criterio	Enfoque en el control	Necesidad de datos	Estandarización de procesos	Tiempo de implementación	Costo de implementación
Enfoque en el control	1	7	7	8	8
Necesidad de datos	0.143	1	7	8	8
Estandarización de procesos	0.143	0.143	1	8	5
Tiempo de implementación	0.125	0.125	0.125	1	9
Costo de implementación	0.125	0.125	0.200	0.111	1
TOTAL	1.536	8.393	15.325	25.111	31

El siguiente paso es la elaboración de la normalización de los criterios, para que los criterios tengan un peso ponderado:

Tabla 26: Matriz de normalización de los criterios

Criterio	SCORE Normalizado	SCORE Normalizado	SCORE Normalizado	SCORE Normalizado	SCORE Normalizado	SCORE Normalizado acumulado	PORCENTAJE NORMALIZADO O ESCALA DE PRIORIDAD
Enfoque en el control	0.65	0.83	0.46	0.32	0.26	2.52	50.37
Necesidad de datos	0.09	0.12	0.46	0.32	0.26	1.25	24.91
Estandarización de procesos	0.09	0.02	0.07	0.32	0.16	0.66	13.10
Tiempo de implementación	0.08	0.01	0.01	0.04	0.29	0.43	8.69
Costo de implementación	0.08	0.01	0.01	0.00	0.03	0.15	2.92
TOTAL	1	1	1	1	1	5	

Tabla 27: Evaluación de opciones

	Enfoque en el control	Necesidad de datos	Estandarización de procesos	Tiempo de implementación	Costo de implementación
RCM	8.00	4.00	7.00	7.00	7.00
TPM	6.00	2.00	3.00	5.00	4.00
Suma	14.00	6.00	10.00	12.00	11.00

Tabla 28: Matriz normalizada de las metodologías

	MATRIZ NORMALIZADA POR COLUMNA:				
RCM	0.571	0.667	0.700	0.583	0.636
TPM	0.429	0.333	0.300	0.417	0.364

Tabla 29: Resultados de la evaluación

SCORES:	
RCM	61.493
TPM	38.507
Suma	100.000

De acuerdo a la evaluación la metodología con mejores resultados será el RCM, debido a que tiene un puntaje de 61,5 comparado con el 38.5 del TPM. Esto debido a que tiene beneficios en términos de duración de la implementación y costo de la misma.

3.2 Diseño de la propuesta de ingeniería industrial

3.2.1 Establecimiento de los niveles de desempeño exigidos.

Pre análisis: En esta fase se realizan las observaciones y descripciones de las características de los sistemas, así como de los equipos que lo componen, tratando de identificar sus entradas y salidas del mismo, visualizando su función general y límites. Para esta fase se realiza la recolección de la información del sistema y la selección de los elementos a evaluar.

Jerarquización: Es esta etapa se realizar las evaluaciones de criticidad del sistema seleccionado, en nuestro caso el sistema de motores, con la finalidad de dividirlo sus componentes para identificar sus partes. A partir de allí se definieron las funciones, límites, entradas y salidas.

Implementación del AMEF: El análisis de modos y efectos de falla tiene como finalidad mostrar las diferentes maneras en que pueden fallar los diferentes equipos, describe cuales pueden ser los motivos por los que el equipo fallo y las consecuencias o efectos de dicha falla. Por su parte este análisis permite ver el índice de ocurrencia o frecuencia de falla de cada sistema, así como la severidad, detección e índice de prioridad. Al final de la implementación de estos pasos se pretende conseguir una mejora en todo el sistema de gestión de mantenimiento, los resultados exigidos para el éxito del RCM se muestran en la tabla 32.

Tabla 30 Indicadores Meta de la propuesta

Objetivo	Indicador	Actual	Meta
Asegurar la Disponibilidad Mecánica de los Equipos	Baja utilización de las maquinarias	45%	90%
	MTTR	3.4	5
	MTBF	68.30%	70%
	Disponibilidad	81.40%	92%
	Horas de paradas	260	
	Retroexcavadoras	65%	30%

	Excavadoras	70%	30%
	Cargadores frontales	62%	30%
	Tractores	75%	30%
	N° horas de paradas no programadas	178.0	
Cumplir el Presupuesto (Gastos de Mantenimiento)	Impacto económico	70,416	0
Asegurar la definición del Plan de Mantenimiento programado de Equipos	Condición de los repuestos		
	Malos	80%	0
	Regulares	19%	20
Asegurar la ejecución del Plan de Mantenimiento programado	Cumplimiento del programa de MTTO preventivo	25%	90

Fuente: Elaboración propia

3.3 Implantación de soluciones.

3.3.1 Formación del personal en la metodología RCM

Es esta etapa se plantean las bases para la implementación del sistema de RCM en la empresa, estas bases toman en cuenta dos factores primordiales el personal y el control del orden y limpieza en el proceso e mantenimiento.

Equipo de trabajo

Para la implementación del RCM en la empresa TEMASA, se decidió el primer lugar formar un equipo responsable del proceso, cuya conformación y principales responsabilidades se muestran en la figura 32, en donde el líder del sistema será el jefe de mantenimiento de la empresa, quien será responsable de la toma de decisiones sobre los recursos y el evaluador de los resultados.

Figura 32 Equipo RCM y responsabilidades

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los 2 supervisores de mantenimiento realizarán el rol de facilitadores con lo cual serán los responsables de la capacitación del personal sobre el plan de implementación además del constante seguimiento. Por otro último, los técnicos de mantenimiento serán los que realicen la ejecución del plan y los trabajos planificados.

3.4 Diseño de la propuesta de ingeniería industrial

Luego de la implementación de las 5'S, se siguió con el diseño para la propuesta de mejora del RCM, la cual se muestra en la figura 33, se empieza por la selección del sistema en el cual se implementará la mejora para luego realizar un estudio de modo y prueba de fallos, determinar los planes de acción según la criticidad de cada equipo.

Figura 33 Fases de implementación del RCM en la empresa

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Fase 1 Selección del sistema y recolección de la información

Definición del contexto operacional:

La empresa TEMASA que se estudia en el presente trabajo de investigación está compuesta de 15 maquinarias pesadas de las cuales 4 presentan problemas de desgaste en el motor de combustión marca Caterpillar G7, G11, 3306, a diferencia de otras marcas que solo son motores Mitsubishi. Los motores diésel, por lo general, usan mayores relaciones de compresión para calentar el aire a las temperaturas de combustión. La mayoría de los motores diésel, por lo general, tienen una relación de compresión de 13:1 a 20:1.

3.4.2 Fase 2 Listado de funciones y sus especificaciones

Recolección de la información sobre motores de combustión interna

Todo motor de combustión interna es aquel en que el combustible se quema en su interior, siendo un recipiente en el que introducimos una mezcla de aire y combustible para hacer que se queme dentro de él. La mezcla se expansiona con rapidez al quemarse y ejerce una presión hacia afuera. Esta presión puede aprovecharse para mover una parte del motor, transformando así en movimiento la

energía liberada por la combustión. En resumen, puede decirse que el motor es un dispositivo que convierte la energía calorífica en fuerza mecánica útil. Sus elementos son:

- Aire, combustible y combustión.
- Movimientos alternativo y rotatorio.
- Compresión de la mezcla de aire y combustible.
- Ciclos - que pueden ser dos o cuatro tiempos.

Sistemas del motor.

Ahora que conocemos ya el motor básico, vamos a describir algunos otros sistemas que se necesitan para que pueda trabajar bien. Estos son:

- El sistema de alimentación del combustible.
- Los sistemas de admisión y escape.
- El sistema de lubricación.
- El sistema de refrigeración.
- El sistema de regulación.

Sistemas de combustible.

El sistema de combustible tiene que suministrarlo limpio y bien dosificado a la admisión de combustible del motor. En este sistema se debe de poder almacenar el combustible y debe de estar dotado de Dispositivos que aseguren la alimentación del motor con combustible. Los tres sistemas de alimentación de combustible que nos interesan aquí son los siguientes:

- Para gasolina.
- Para gas natural.
- Para diesel.

Sistemas para gasolina.

Los sistemas de alimentación de combustible para gasolina, entregan al motor la mezcla de aire y gasolina que ha de quemar. El sistema de alimentación para gasolina se compone de los siguientes elementos esenciales:

- Un depósito para almacenar el combustible.
- Una bomba de alimentación de combustible.
- Un carburador que atomiza el combustible y lo mezcla con el aire.

Durante el funcionamiento, la bomba de alimentación aspira la gasolina del depósito y la manda a la taza del carburador. El carburador consiste, en esencia, en una tobera que aspira y pulveriza el combustible, mezclándolo con el aire, por diferencia de presión. Está construido de forma que se pueda dosificar el combustible y el aire que forman la mezcla que aspira el motor.

Sistemas de alimentación.

El combustible puede hacerse llegar hasta el motor por uno de los procedimientos siguientes:

- Por acción de la gravedad, el depósito de combustible se sitúa por encima del nivel del carburador. En este sistema no se necesita bomba de alimentación al ser la gravedad la que hace llegar el combustible hasta el carburador.
- Impulsándolo mediante una bomba, el depósito de combustible puede situarse a un nivel más bajo que el del carburador. El combustible lo extrae del depósito una bomba que lo impulsa hasta el carburador.

Sistemas de alimentación para diesel.

En el sistema de alimentación para diesel, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión del motor, donde se mezcla con el aire caliente comprimido, inflamándose en ese momento. Por lo tanto, no se necesita ninguna chispa para inflamar la mezcla, como ocurre en los motores de gasolina o de gas natural. En lugar de carburador, estos motores llevan bomba de inyección e inyectores. Los componentes principales del sistema de alimentación para diesel, son los siguientes:

- Depósito de combustible - para almacenarlo.
- Bomba de alimentación - para mandar el combustible a la bomba de inyección.

- Filtros para el combustible - para mantenerlo limpio.
- Bomba de inyección - dosifica e inyecta el combustible en el momento preciso.
- Inyectores - pulverizan el combustible dentro del cilindro.

Figura 34 Componentes principales del sistema de alimentación para diesel.

Fuente: La empresa

Durante el funcionamiento, la bomba de alimentación de combustible toma éste del depósito y lo fuerza a través de los filtros. El sistema de Inyección lleva piezas mecanizadas con alta precisión, para las que es de vital importancia que el combustible no contenga agua ni impurezas. Esta es la razón de que se empleen filtros adicionales para el combustible, pero sin que esta circunstancia pueda servir para dar menos importancia a la adquisición de un combustible perfectamente limpio y una técnica de almacenado del mismo que lo proteja de toda contaminación. Desde el filtro el combustible es empujado hacia la bomba de inyección, que lo dosifica, lo somete a una gran presión y lo manda en el instante preciso al inyector correspondiente. Cada cilindro lleva un inyector. Estos atomizan el combustible y lo pulverizan a alta presión, en el instante preciso, dentro de la cámara de

combustión. El combustible tiene que llegar al inyector a gran presión para que éste lo pueda pulverizar finamente.

Sistemas de admisión y escape.

Los sistemas de admisión y escape llevan mezcla de aire y combustible hasta el motor y dan salida a los gases quemados.

Sistema de admisión.

El sistema de admisión suministra al motor aire limpio en la cantidad y a la temperatura apropiada para una buena combustión. El sistema de admisión consta de cinco componentes:

- Purificadores para el aire, retienen el polvo y la suciedad al ser atravesados por el aire aspirado por el motor. Se emplean también pre-purificadores con el fin de separar las partículas más gruesas, que podrían obstruir el purificador.
- Sobrealimentador, se suelen emplear en los motores de dos tiempos para forzar la entrada de aire en el cilindro y expulsar más eficazmente los gases quemados. El Sobrealimentador trabaja como una bomba que aumenta la presión del aire. Con un Sobrealimentador de turbina se puede aumentar la potencia del motor al llenar el cilindro con mayor cantidad de mezcla de aire y combustible, de la que el motor puede aspirar en forma natural.
- Colector de admisión, lleva la mezcla (aire puro en el motor diesel) a todos los cilindros del motor.
- Tobera del carburador, mezcla el aire con el combustible en la proporción correcta para que se queme totalmente y regula la velocidad del motor. Las válvulas de admisión
- Válvulas de admisión, dejan que entre el aire en el cilindro correspondiente del motor diesel o la mezcla de aire y combustible en el motor de encendido por chispa. Por regla general, estas válvulas se abren y cierran por un dispositivo mecánico mandado por el árbol de levas. En información que se proporciona posteriormente se describen en forma detallada los sistemas de admisión.

El sistema de escape recoge los gases quemados y los manda a la atmósfera. En realidad cumple tres funciones:

- Disipa el calor de los gases.
- Amortigua el ruido de las explosiones.
- Conduce al exterior los gases quemados y sin quemar.
- El sistema de escape consta de tres componentes fundamentales:
- Las válvulas de escape, se abren para dejar salir los gases quemados en los motores de cuatro tiempos. Normalmente, las válvulas funcionan por medio del árbol de levas.
- El colector de escape, recibe los gases quemados de todos los cilindros para llevarlos al silenciador.
- El silenciador del escape, amortigua el ruido producido por las explosiones de la mezcla.

3.4.3 Fase 3 Determinación de fallos principales y secundarios

- **Índice de severidad:** Consiste en indicar el daño o la repercusión en cuanto a la seguridad de equipos, personas, medio ambiente e inocuidad del producto e impacto a la producción.
- **Índice de detección:** Indica la facilidad o rapidez en que se puede detectar la existencia de dicha falla.
- **Índice de ocurrencia:** Indica la frecuencia o en qué lapso de tiempo es probable que ocurra nuevamente la falla.
- **Índice de prioridad:** Es un valor numérico final que se le da a la falla indicando qué tan pronto debe hacerse un análisis al equipo.

Tabla 31 Tabla de puntaje del AMEF

Gravedad	
Descripción	Puntaje
Menor	1
Moderado	2
Grave	3
Catastrófico	4
Ocurrencia	

Descripción Puntaje	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2 - 3
1 falla cada 1 año	4 - 5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6 - 7
1 falla entre 1 a 6 meses	8 - 9
1 falla al mes	10

Detección (dificultad de detección)	
Descripción Puntaje	Puntaje
Fácil Detección	1
Los controles tienen una efectividad moderada o alta	2
Los controles tienen una efectividad leve o baja	3
Imposible detección	4

Fuente: Elaboración propia

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

43 < NPR Inaceptable (I).

21 < NPR < 43 Reducción deseable (R).

NPR < 21 Aceptable (A).

3.2.6 Análisis de fallas y sus efectos (AMEF)

En las tablas siguientes se desarrolla el AMEF de las 6M de calidad, el cual surge para identificar los fallos más frecuentes y con mayor impacto en la presentación de paradas de motor en las maquinarias estudiadas,

Tabla 32 Hoja de información AMEF - Factor Medición

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Medición poco confiable	se realiza la medición de componentes en obras civiles o mineras	no se puede monitorear los componentes internos	equipos genéricos, des-calibrados	perdida de inspección y evaluación de los componentes	fallo de comunicación con los supervisores	consultar al fabricante el instrumento adecuado para cada uso de las labores	2
Falta de equipos de medición		mediciones del sistema de campo no calibrados fuera de los parámetros	instrumentos de medición llevados a otras obras	no contar con instrumentos de medición en obras	instrumentos no adecuados para la elaboración de informe	mantenimiento preventivo de los equipos	24
No existen empresas calibradoras cercanas a las obras en provincias		falta de implementación de sucursales	algunos instrumentos de medición no apto para provincias	no se puede tener un control sin instrumentos de medición por lo que no se puede mejorar	desconocimiento de KPI	llevar un programa de calibración de instrumentos de medición	18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Hoja de información AMEF - Factor Material

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Repuestos equivalentes	tener en funcionamiento a las maquinas	falta de repuestos originales en algunas obras	deterioro de componentes cercanos a repuestos originales	desgaste de piezas por repuestos no precisos	paradas no programadas de los equipos	mantenimiento preventivo	12
Herramientas especiales	ajustar desajustar elementos del motor de combustión diésel	falla de herramientas	utilización inadecuada de herramientas especiales	posibles accidentes a la integridad personal	falta de conocimiento del uso de la herramienta	capacitación en uso de herramientas especiales	12
Falta de stock de repuestos	brindar facilidad de repuestos en las obras	falta de repuestos en obras de provincias	utilización inadecuada del inventario de repuestos para obras	paradas no programadas de las maquinas por no haber repuestos	falta de personal capacitado en inventarios	contratar personal externo para capacitar en sistema de inventario de repuestos	9
Equipos de protección personal	proteger al personal que usa los EPP	falta de equipos de protección	no se renovaron después de su fecha de vencimiento	falta de protección por el uso de EPP vencido	falta de conocimiento de la fecha de vencimiento	controlar la fecha de vencimiento de los EPPs	9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Hoja de información AMEF - Factor Mano de obra

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Personal insuficiente	Personales que realizan las labores en obras civiles o mineras	personal no capacitado	personal contratado en provincias	posibles paradas en obras por error de operación	falta de programación para entrenamiento de nuevas generaciones	programar entrenamientos en la operación de maquinaria pesada	14
Personal no capacitado			personal sin experiencia en las labores de construcción	posibles accidentes a la integridad del personal	no se seleccionó al personal adecuado para las labores a realizar	definir las funciones y experiencia del personal de operaciones	12
Personal técnico desmotivado			falta de seguimiento en las operaciones a realizar para cada labor en obra	posibles errores de operación por seguir procedimientos inadecuados	no hay un responsable de seguimiento de procedimientos adecuados para la operación	delegar un responsable que realice los seguimientos	12
Errores humanos de operación			faltan planes de capacitación de personal	desconocimiento de seguridad	no se seleccionó correctamente al personal que capacita	delegar un personal calificado en mantenimiento	18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Hoja de información AMEF - Factor Ambiente

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Obras lejanas a oficina central	proyectos fuera de la ciudad	falta de planificación del lugar de residencia	retraso en el proyecto	no culminar el proyecto en tiempo establecido	falta de programación de lugar de residencia	programar cambios de lugar de residencia más cercanas a obra	18
Falta de proveedores nacionales	proporciona las herramientas y repuestos para las maquinas	falta de condiciones ambientales	posibles corrosiones de algunos repuestos por exposición a excesiva humedad	posibles fugas en puntos de corrosión	no hay un programa de protección de los repuestos con temperaturas ambientales	implementar un programa de mantenimiento de repuestos en temperaturas ambientales	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Hoja de información AMEF - Factor Método

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Mala operación del equipo	realizar la puesta en marcha de la maquinaria	falta de actualización de procedimientos para realizar los mantenimientos de las maquinarias y plan de contingencia	no hay personal con experiencia	posibles arranques fallidos	no hay una persona capacitada para instruir a lama operación	delegar a una persona para instruir en las operaciones de los equipos	6
Plan de mantenimiento inadecuado	contiene el programa de tareas paso a paso a realizarse para tener de manera eficiente y segura una maquinaria		exceso de confianza de los operadores	posibles daños a los activos por error de mantenimiento	aun no experimenta errores en los activos	tener el procedimiento de mantenimiento actualizada	6
Falta de un plan de mantenimiento RCM			no hay personal especializado	posibles pérdidas excesivas por no tener personal especializado	no fue considerado en el inicio del proyecto	ordenar y elaborar un plan de mantenimiento basado en RCM	6
Falta de procedimientos de operación y mantenimiento			no se tiene en cuenta el tiempo de operación de los equipos	el mantenimiento de los equipos no es eficiente	falta de conocimiento por parte del planeador de mantenimiento	entrenar al planeador de mantenimiento en tiempo de vida de los equipos	18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Hoja de información AMEF - Factor Maquinaria

Equipo	Función	Fallo funcional	Modo de fallo ¿Qué causo el fallo funcional?	Efecto potencial del fallo	Causas secundarias ¿Qué causo el modo de fallo?	Controles a realizarse	NPR
Maquinaria pesada para proyectos de implementación	realizar las labores que requieran los diferentes	Falta de mantenimiento preventivo	no se tiene ordenado el plan de mantenimiento preventivo	se comenten los mismos errores	daños en el sistema de transmisión	inspección diaria de los componentes en movimiento	9

de obras civiles, mineras, construcción.	clientes en Perú a nivel nacional	Desgaste de componentes	falta de mantenimiento correctivo en los sistemas de motor, hidráulico y transmisión	no cuenta con una cartilla de inspecciones diarios para realizar un mantenimiento	daños en el sistema hidráulico	inspección paulatina del sistema hidráulico de levante y rotación	8
		Paradas de equipos	falta de un supervisor que realice la inspección diaria de los equipos que trabajan en obra	falta de conocimiento por parte del supervisor	daños en el sistema de motor	inspección y monitoreo del sistema de motor con IT.	9

Fuente: Elaboración propia

3.4.5 Fase 5 Estudio de criticidad de los fallos

En esta etapa jerarquizaremos las partes principales que compone a un motor de combustión diésel, con la finalidad de optimizar su funcionamiento mediante la mejora de su mantenimiento.

Los criterios empleados serán:

- Frecuencia de fallas.
- Impacto operacional.
- Flexibilidad operacional.
- Coste de mantenimiento.
- Impacto en seguridad, ambiente e higiene.

Los criterios empleados para la obtención de la criticidad total del sistema, se muestran en la siguiente tabla 40, presentada a continuación:

Tabla 38 Tabla de criticidad

Frecuencia de fallas	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1
Consecuencia a Personal	
Muerte de un colaborador de la empresa	4
Accidente incapacitante	3
Accidente leve	2
Rasguño, daños leves	1
Consecuencia al Medio Ambiente	
Contaminación por emanaciones gaseosas ppm NOx > 200	4
Contaminación por emanaciones gaseosas ppm NOx > 150	3
Contaminación por emanaciones gaseosas ppm NOx > 100	2
Contaminación por emanaciones gaseosas ppm NOx < 50	1
Consecuencias operacionales	
Parada total de la planta.	4
Parada parcial de un equipo y repercute a otro equipo o subsistema.	3
Impacta a niveles de producción o calidad de la obra	2
No se produce paradas no programadas	1

Fuente: Elaboración propia

Para elaborar el análisis de criticidad total se va a utilizar: $\text{Riesgo} = \text{Frecuencia} \times \text{Max (consecuencia Pe, Ma, Op)}$. En la tabla 41 se muestra el cuadro de criticidad utilizado para la evaluación de los fallos en el AMEF, el cual presenta puntuación de acuerdo a la frecuencia de presentación de la falla y a su impacto en el funcionamiento del motor. Siendo la escala cuatro la más fuerte y la 1 la más débil, en cuanto la intensidad y frecuencia de aparición.

Tabla 39 Cuadro de criticidad

FRECUENCIA					
Alta	4	SM	C	C	C
Media	3	NC	SM	C	C
Baja	2	NC	NC	SM	C
Remota	1	NC	NC	NC	SM
		1	2	3	4

Fuente: Elaboración Propia (C: Crítico, NC: No crítico, SM: Semi-crítico)

3.4.6 Fase 6 Determinación de las medidas preventivas

En esta fase se realiza la determinación de acuerdo a los resultados de criticidad identificados de la lista de mejoras que son necesarias implementar en los sistemas de motor de las maquinarias de la empresa TEMASA, de acuerdo al análisis AMEF realizado en pasos previos. De acuerdo a este análisis es importante implementar un plan de mantenimiento efectivo que permite la revisión constante de los desgastes de las maquinarias y sus partes, así también se encontró como primordial el establecer un mejor sistema de abastecimiento o adquisición de repuestos y por último la elaboración de procedimientos estándares para el mantenimiento preventivo de las distintas partes de un motor, a través de material formativo. Para realizar la puesta en marcha de las acciones se elaboró un análisis de árbol de decisión.

Análisis del árbol de decisión lógico

Es esta etapa se utiliza la herramienta denominada hoja de decisión la cual permite registrar las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión:

- Que mantenimiento de rutina es el que será realizado, su frecuencia y el responsable.
- Determinación de las fallas que son suficientemente serias para justificar la dada de baja de un motor.
- Los casos en los que se puede tomar una decisión deliberada de dejar que ocurra algún tipo de falla por alguna circunstancia en particular.

En la tabla 37 se muestra la hoja de decisión RCM elaborada para el motor y sus componentes.

Tabla 40 Hoja de decisión RCM implementada

Hoja de decisión RCM						
Pieza	Referencia de información					
	F		FF		FM	
Bujía	1	Genera la chispa de encendido del motor	A	Golpeteo del motor	1	Suciedad
			B	No hay chispa	2	Excesiva luz de apertura
			C	Ruido	2	Desgaste
			D	Oscilaciones	3	Suciedad
			E	Oscilaciones	4	Excesiva luz de apertura
			E	Disminución de RPM	5	Contaminación con lubricante
bateria	2	Genera el voltaje que se suministra a la bujía	A	No hay chispa	1	Corto circuito
			B	Masa a tierra	2	Cable suelto
			C	Golpeteo del motor	3	Imán con suciedad
Bobina	3	Envía la corriente a la bujía	A	No hay chispa	1	Cable roto
					2	Pérdida de carga
Cables de control	4	Conducen y distribuyen la corriente a todos los dispositivos eléctricos y electrónicos	A	Circuito abierto	1	Cable sulfatado
					2	Cable suelto
			B	Golpeteo del motor	1	Cable a tierra
					2	Cable suelto
			C	Ruido	1	Cable suelto
					2	Cable a tierra
Hoja de decisión RCM						
Cables de potencia	5	Conduce energía eléctrica a los motores eléctricos	A	Circuito abierto	1	Cable sulfatado
			B	Ruido	1	Cable suelto

		del sistema auxiliar	C	No hay chispa	1	Cable sulfatado
--	--	----------------------	---	---------------	---	-----------------

Fuente: Elaboración propia

Selección de una táctica de mantenimiento

Es esta etapa se eligió la elaboración de un procedimiento de para la identificación de trabajos y áreas dentro de las actividades de mantenimiento, así mismo de acuerdo al diagnóstico se definió como técnica de mantenimiento la formación de especificaciones técnicas para cada componente del motor y el aseguramiento mediante auditorías de que las mismas se cumplan bajo todas las condiciones. Esta información se presenta a continuación:

Tabla 41 Táctica de mantenimiento implementada

Identificación de trabajos y tareas

Nombre del participante: _____

Nº de tarea	Descripción de tarea	Firma del instructor
1	Revisar el sistema del motor durante el recorrido por los motores.	
2	Localizar los componentes electrónicos y sensores del sistema del motor.	
3	Mantener el control de todos los componentes durante desarmado.	
4	Limpiar y examinar los componentes	
5	Medir, comprobar, y preparar los componentes para la instalación.	
6	Volver a armar el motor en orden proporcionado.	
7	Comprobar las especificaciones de desgaste, tolerancias de separación, y apretar todos los componentes a la especificación apropiada.	
8	Comprobar la operación del avance del arranque en frío.	
9	Proveer de combustible el ajuste del imán del estante del control.	
10	Realizar la prueba de la falla de tiro del cilindro.	

Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Procedimiento de mantenimiento preventivo del motor

MEDIR LOS DIÁMETROS DEL DIARIO DEL CIGÜEÑAL	
Medidas	
Diarios principales	Diarios de Rod

1. _____	1. _____
2. _____	2. _____
3. _____	3. _____
4. _____	4. _____
5. _____	5. _____
6. _____	

Especificación

Diámetro externo del diario principal del cigüeñal.....74.987—75.013 mm (2.9522—2.9533 in.)

Diámetro externo del diario de Rod del cigüeñal.....59.987—60.013 mm (2.36170—2.3627 in.)

Cojinete principal del cigüeñal para meter la separación del aceite en diario0.021—0.090 mm (0.0008—0.0035 in.)

Ahusamiento del máximo del diario de la cañería o de Rod del cigüeñal..... 0.010 mm (0.0004 in.)

Fuente: Elaboración propia

Medir los diarios y los lóbulos de árbol de levas

Medidas

Diarios

1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____

Lóbulos de la leva

1. _____ 2. _____ 3. _____ 4. _____ 5. _____ 6. _____
7. _____ 8. _____ 9. _____ 10. _____

Especificación

Diámetro externo del diario de árbol de levas..... 55.872—55.898 mm (2.1997—2.2007 in.)

Lóbulo-Altura del producto del árbol de levas.....7.05—7.31 mm (0.278—0.288 in.)

Lóbulo-Altura del extractor del árbol de levas..... 6.89—7.15 mm (0.271—0.281 in.)

Lóbulo-Diámetro del árbol de levas de la bomba de la fuente de combustible..... 42.67—42.93 mm (1.68—1.69 in.)

LLANURA DE CULATA

Medidas

GO _____ NO-GO _____

Especificación

Llanura de culata Hacia fuera-de-Plano aceptable máximo para cada 150 mm
(6 in.).....0.05 mm (0.002 in.)

Hacia fuera-de-Plano aceptable máximo para cada 25 mm (1 in.)..... 0.025 mm (0.001 in.)

LLANURA DE LA CUBIERTA DE LA TAPA DEL BLOQUE DE CILINDRO

Medidas

GO _____ NO-GO _____

Especificación

Hacia fuera-de-Plano aceptable del Llanura-Máximo del bloque de cilindro para cada 150 mm (6 in.)
..... 0.05 mm (0.002 in.)

Hacia fuera-de-Plano aceptable máximo para cada 25 mm
(1 in.)..... 0.025 mm (0.001 in.)

Alesaje principal del cojinete - Línea central al bloque de cilindro - Cubierta-Distancia superior.274.96—
275.04 mm (10.825—10.828 in.)

Selección de tareas

En la tabla 44, se indican las tareas identificadas como las más resaltantes en la implementación del RCM en el área de mantenimiento de la empresa TEMASA, la cual se conducirá como un proyecto de gestión.

Tabla 42 Lista de tareas en la implementación del RCM

Actividades a realizar en la implementación de RCM	
Actividades	Duración
GESTIÓN DEL PROYECTO DE TESIS	
Acta de Constitución el Proyecto	7 días
Lista de Interesados	4 días
Declaración del alcance del proyecto	4 días
Plan de Gestión de los requisitos	6 días
Estructura de Desglose de Trabajo (EDT)	6 días
Diccionario de EDT	6 días
Plan de gestión del tiempo	6 días
Cronograma del proyecto	8 días
Diagnóstico actual de la empresa	6 días
Evaluación Presupuesto	6 días
Planeamiento del mantenimiento	5 días

Elaborar reporte de fallas	5 días
Recopilar y analizar datos estadísticos	6 días
Hacer el análisis causa Raíz	6 días
Elaborar el análisis de criticidad y FMEA	4 días
Identificar los riesgos	7 días
Categorización de los riesgos	8 días
Identificar puntos de mejora y proponer optimizaciones	6 días
Hacer formatos de RCM	5 días
Proponer un grupo de trabajo de confiabilidad.	8 días
Elaborar procedimiento de operaciones	8 días
Actualizar los planos de instrumentación y control	6 días
Capacitación de operación para sensibilizar con RCM	8 días
Hacer evaluación de competencias del personal	6 días
Servicio de configuración reportes diarios con indicadores	5 días
Elaboración de KPIs	6 días
Prueba de redundancia en sistemas de alta criticidad.	6 días
Prueba de enlace con la base de datos existente	5 días
Registro de capacitación a personal de mantenimiento.	5 días
Registro de capacitación a personal de operaciones.	6 días
Informe de operación en las obras monitoreando mejoras.	5 días
Informe de operatividad de indicadores de mantenimiento	6 días
Informe del monitoreo del RCM de los últimos 30 días desde que se iniciaron las pruebas piloto	7 días

Fuente: Elaboración propia

3. 5 Programación de actividades

En la tabla 45 se presenta el diagrama de Gannt del plan de acción establecido por el proyecto.

Tabla 43 Diagrama 1 de Gannt de proyecto de implementación del RCM

Fuente:

Elaboración

3.6

Acciones

Garantía

3.6.1

propia

de

Elaboración de la guía de ensamblaje del motor

Para garantizar que se realice la actividad de ensamblado de motor de manera correcta, se implementó una guía que indica los pasos a seguir para que se revise cada parte de motor de manera adecuada. La misma se describe en la tabla 46, en la cual se incluyen ilustraciones de cada parte a revisar.

Tabla 44 Guía de ensamblaje de motor

Realizar el nuevo ensamble del motor.	
Consulte el CTM 301	Recordatorio importante <ul style="list-style-type: none"> • Volver a montar el motor en orden proporcionado. • Comprobar las especificaciones de desgaste, tolerancias de la separación, y apretar todos los componentes según la especificación.
Anotar cualquier herramienta especial usada para terminar las tareas para este objetivo.	
1. Instalar los cojinetes y el cigüeñal principales (grupo 40) 2. Instalar la carcasa de volante, el sello trasero y el volante (grupo 40) 3. Instalar pistones y las barras. (Grupo 30) saliente del pistón de la medida 4. Instalar los ejes de tensión, si está equipado, y engranes más libres. (Grupo 50) 5. Instalar el montaje del árbol de levas y del gobernador. (Grupo 50) 6. Instalar la junta de cabeza y cabeza. (Grupo 20) 7. Instalar los seguidores, las varillas de empuje y la barra de balancines. (Grupo 20) 8. Instalar la bomba de combustible y el montaje del filtro de combustible. (Grupo 90) 9. Instalar el refrigerador de aceite, el filtro de aceite nuevo y la varilla de nivel. (Grupo 60) 10. Instalar aneroide. (Grupo 70) 11. Instalar la cubierta de la sincronización y el nuevo sello delantero. (Grupo 50) 12. Instalar la bomba y el termostato del líquido refrigerante. (Grupo 70) 13. Instalar el aceite toman la cacerola del tubo y de aceite. (Grupo 60) 14. Instalar las bombas de la unidad y los inyectores del inyector. (Grupo 90) 15. Instalar el arnés de las bujías (Grupo 20) 16. Instalar el múltiple y el turbocargador del extractor. (Grupo 60) 17. Instalar la cubierta de balancines. (Grupo 20) 18. Instalar el arrancador. Instalar la banda de ventilador, el ventilador, el tensor de banda y el alternador. (Grupo 20)	
Observaciones:	

Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Auditoría de diagnóstico y localización de averías en los sistemas del motor

Otro paso para garantizar que se continúe con el sistema es la elaboración de auditorías al proceso de mantenimiento de acuerdo a los lineamientos del RCM para motores, a continuación, se describen los pasos para la realización de la auditoría inopinada.

Paso 1: Comprobar la operación del avance del arranque en frío

Utilizar la ilustración abajo para tomar notas durante la práctica que te ayudará a terminar la operación del avance del arranque en frío del cheque.

Comprobar el avance del arranque en frío	
Consulte el CTM 301	Recordatorio importante <ul style="list-style-type: none">■ Puedes comprobar el avance del arranque en frío solamente cuando el motor está frío.
Notas:	

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Ajuste del imán del estante del control del combustible

Utilizar la ilustración abajo para tomar notas durante la práctica que te ayudará a terminar el ajuste del imán del estante del control del combustible. Referir a CTM 301 para el diagnóstico y los procedimientos de reparación.

Ajuste del imán del estante del control del combustible

Consulte el CTM 301	Recordatorio importante <ul style="list-style-type: none"> Asegurarte de que un imán esté en el interior de la cubierta integrada de la sincronización.
Notas:	

Fuente: Elaboración propia

Paso 3: Realizar la prueba de la falla de tiro del cilindro

Utilizar la ilustración abajo para tomar notas durante la práctica que te ayudará a realizar la prueba de la falla de tiro del cilindro. Referir a CTM301 para el diagnóstico y los procedimientos de reparación.

Fuente: Elaboración propia

Paso 4: Realizar la prueba de tiro de cilindro

Realizar la prueba de la falla de tiro del cilindro	
Consulte el CTM 301	Recordatorio importante <ul style="list-style-type: none"> Una diferencia de cerca de 20 grados entre los inyectores será una muestra clara de un problema.
Notas:	

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Formatos del sistema RCM

Tabla 45 Hoja de decisión RCM en motores

Hoja de decisión RCM							Sistema motor								Sistema N°		Facilitador:	Fecha	Hoja N°	
							Componentes								N° Componentes		Auditor:	Fecha	de	
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H2	Ac	Acción		Tarea propuesta				Interval o Inicial		A realizarse por	
							S1	S2	S2											
							O1	O2	O2											
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N2	H4	H5	S4								

Fuente: Elaboración propia

La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan en esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de información y las Hojas de decisión. Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones, de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.
- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique).

- Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla.
- La columna de tarea propuesta también se utiliza para colocar actividades de “rediseño”, o si se decidió que el modo de fallo sea tratado Run-to fail. (Moubray 1997: 206)

Tabla 46 Formato de verificación de fugas de motor

	Recordatorio importante
	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener el control de componentes. • Limpiar y examinar los componentes. • Medir, probar, y preparar los componentes para el nuevo ensamble.
Anotar cualquier herramienta especial usada para terminar las tareas para este objetivo.	
1. Verificar que esté escurrido el líquido refrigerador y el aceite del motor. 2. Quitar la banda de ventilador, el ventilador, el tensor de banda y el alternador. (Grupo 20) 3. Quitar el turbocargador (si está equipado) y el múltiple del extractor. (Grupo 80) 4. Quitar la cubierta de balancines y el tubo del respiradero. (Grupo 20) 5. Quitar las mangueras del refrigerante de aceite y la bomba del líquido refrigerante. (Grupos 60 y 70) 6. Quitar la varilla de nivel, el filtro de aceite, el refrigerador de aceite y la cubierta del adaptador (si está equipado). (Grupo 60) 7. Quitar el filtro de combustible, la bomba de combustible y la línea de combustible. (Grupo 60) 8. Quitar la marcha del motor. (Grupo 100) 9. Quitar barra de balancines del motor. (Grupo 20) 10. Quitar el sistema de combustible integrado (IFS). (Grupo 90) 11. Quitar cabeza. 12. Quitar los seguidores de leva. (Grupos 20 y 90) 13. Quitar la polea del cigüeñal. (Grupo 40) 14. Quitar el volante y la carcasa de volante. (Grupo 40) 15. Quitar el sello trasero (grupo 40) 16. Quitar el carter de aceite. (Grupo 60) 17. Quitar la tapa frontal. (Grupo 50) 18. Quitar los engranes que miden el tiempo y el árbol de levas. (Grupo 50) 19. Quitar pistones y las bielas. (Grupo 30) 20. Quitar el cigüeñal y los cojinetes principales. (Grupo 40)	

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Sistema de gestión de KPI's

Otro pilar para la implementación del sistema RCM en la empresa es el seguimiento de las actividades y sus resultados a través de indicadores, los cuales se muestran en la figura 36.

Figura 36 Diagrama de flujo del proceso de gestión de indicadores KPI

Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Sistema informático de gestión de indicadores

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47 Indicadores KPI

TABLERO DE CONTROL						
		2016				
OBJETIVO	INDICADOR	Valor Actual	Rangos de Alerta			Ponderación
Aumentar la disponibilidad de las maquinarias	Baja utilización de las maquinarias	0%	96%	96%<I<91%	91%	90%
	MTTR	0%	4.50	4.0<I<4.4%	3.00	5
	MTBF	0%	70%	66%<I<69%	69%	70%

				%		
	Disponibilidad	0%	92%	90%<I<92%	89%	92%
	Horas de paradas	0%	97.00	97<I<92	92.00	100
	Paradas no programadas	0%	30.00	30<I<32	32.00	30%
	N° horas de paradas no programadas	0%	79.00	60<I<69	60.00	79
	Condición de los repuestos	0%	0.20	20<I<25	30.00	20
	Cumplimiento del programa de MTO preventivo	0%	90%	85%<I<90%	81%	90
OBJETIVO	INDICADOR	Valor Actual	Rangos de Alerta			Ponderación
Incrementar el reconocimiento de imagen	Índice de seguridad y confiabilidad	0%	98%	98%<I<90%	90%	-

Fuente: Elaboración propia

3.5 Resultados de la aplicación del AMEF

En la tabla 50 se muestra los resultados del análisis AMEF de las partes que forman parte del motor de combustión interna de las maquinarias pesadas.

Tabla 48 Resultados de AMEF en motores

N°	Ítem	Modo de fallo	Efectos de fallo	Causas de fallo	G	O	D	NPR	NIVEL
1	Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	picadura en el panal	4	2	3	24	SM
2	Anillos de lubricación	Humo azul	Sobrecalentamiento	desgaste	2	3	2	12	NC
3	Bujía	No hay chispa	Falla en el arranque	Falla de mantenimiento	2	4	1	8	NC
4	Cableado eléctrico	No hay chispa	motor no arranca	Cable roto	1	4	2	8	NC
5	Radiador	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	tapa de radiador rota	3	1	3	9	NC
6	Sistema de lubricación	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	desgaste de sello eje	3	1	2	6	NC
7	Sistema de lubricación	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	desgaste de sello caja	2	4	3	24	SM
8	Imán	No hay chispa	motor no arranca	corto circuito	1	1	2	2	NC
9	Tuberías	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	dimensión inadecuada	4	2	2	16	NC
10	Radiador	Taponamiento	Sobrecalentamiento	corrosión	2	2	1	4	NC
11	Sistema de lubricación	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	no hay aceite en el lubricador	2	4	2	16	NC
12	Sistema de lubricación	No hay bombeo de	Parada de motor	desgaste de válvula	1	2	3	6	NC
13	Sistema de lubricación	No hay bombeo de	Parada de motor	obstrucción del filtro	2	4	3	24	SM
14	Sistema de lubricación	No hay bombeo de	Parada de motor	Bombín taponeado	4	1	3	12	NC
15	Sistema de lubricación	No hay bombeo de aceite	Parada de motor	válvula Check del cilindro taponeada	2	3	4	24	SM
16	Imán	Masa hace tierra	motor no arranca	Cable suelto	3	1	2	6	NC
17	Faja de ventilador	Bajo flujo de aire	Sobrecalentamiento	mala selección	3	1	1	3	NC
18	Conexiones de	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Corrosión	3	4	3	36	SM

19	Refrigerante	contaminación	Sobrecalentamiento	mezcla inapropiada	1	1	1	1	NC
20	Refrigerante	contaminación	Sobrecalentamiento	refrigerante fuera de especificación	2	2	1	4	NC
21	Cigüeñal	Detonaciones	Deformación	mal sincronismo	1	1	1	1	NC
22	Bobina	No hay chispa	motor no arranca	Pérdida de carga	3	3	2	18	NC
23	Conexiones de	Fuga de refrigerante	Sobrecalentamiento	Mal ajuste	1	3	4	12	NC
24	Conductos de aceite	Taponamiento	Sobrecalentamiento	obstrucción de conductos	3	1	2	6	NC
25	Cigüeñal	Detonaciones	Pérdida de potencia	mal sincronismo	4	3	4	48	C
26	Fibras	Ruido	Pérdida de tracción	desgaste	2	3	3	18	NC
27	Bobina	No hay chispa	motor no arranca	cable roto	1	1	4	4	NC
28	Ventilador	No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	desgaste de rodamiento	2	3	4	24	SM
29	Nivel de aceite	Obstrucción del nivel	Parada de motor	Aceite contaminado	1	3	3	9	NC
30	Pistón	Motor no comprime	Parada de motor	Desgaste de pistón	4	4	2	32	SM
31	Biela	Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste	3	2	2	12	NC
32	Camisa	Baja compresión	Parada de motor	Desgaste	2	3	3	18	NC
33	Rodaje Piloto	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	1	2	2	4	NC
34	Rodaje Piloto	Ruido	Deformación de eje	Rotura	1	4	1	4	NC
35	Filtro de aire	Restricción de aire	motor no arranca	filtro taponeado	3	1	2	6	NC
36	Metales de biela	Fundición de metal	Paro inesperado	falla de lubricación	4	4	1	16	NC
37	Nivel de aceite	Descalibración	Sobrecalentamiento	Error de montaje	2	2	3	12	NC
38	Nivel de aceite	Descalibración	Sobrecalentamiento	Mal mantenimiento	2	1	1	2	NC
39	Fibras	Trabamiento	Sobrecalentamiento	rotura	1	4	4	16	NC
40	Cableado eléctrico	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	2	4	3	24	SM
41	Imán	Golpeteo del motor	Parada de motor	magneto con suciedad	4	2	3	24	SM
42	Pistón	Motor no comprime	Motor no arranca	Desgaste de pistón	4	4	4	64	C
43	Pistón	Motor no comprime	Falla al arrancar	Desgaste de pistón	1	4	1	4	NC
44	Pistón	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de pistón	2	2	3	12	NC
45	Anillos de compresión	Baja compresión	Pérdida de potencia	desgaste de anillos	4	1	3	12	NC
46	Anillos de compresión	Motor no comprime	Motor no arranca	desgaste de anillos	2	2	3	12	NC
47	Anillos de compresión	Motor no comprime	Falla al arrancar	desgaste de anillos	2	4	4	32	SM
48	Rodaje Piloto	Ruido	No hay tracción	Desgaste esperado	1	3	3	9	NC
49	Separador de gas	combustible húmedo	pérdida de potencia	falla en la purga	1	1	1	1	NC
50	Filtro de aire	Restricción de aire	Pérdida de potencia	filtro taponeado	1	4	2	8	NC
51	Faja de ventilador	Ruido	deslizamiento	desgaste de faja	3	4	3	36	SM
52	Fibras	Deslizamiento	No hay tracción	fibras engrasadas	3	4	2	24	SM
53	Culata	Baja compresión	Parada de motor	Desgaste de camisa	1	3	1	3	NC
54	Culata	Baja compresión	Parada de motor	Deformación de culata	2	2	4	16	NC
55	Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento	Deformación de culata	2	3	3	18	NC
56	Culata	Baja compresión	Sobrecalentamiento	rotura de culata	4	1	3	12	NC
57	Cruceta	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	4	1	2	8	NC
58	Cruceta	Ruido	Sobrecalentamiento	Suciedad	1	2	4	8	NC
59	Cruceta	Ruido	Parada de motor	Rotura de perno	3	4	2	24	SM
60	Manifold de admisión	fuga de combustible	motor no arranca	válvula rota	2	3	1	6	NC
61	Manifold de admisión	fuga de combustible	Paro inesperado	Mal mantenimiento	2	4	2	16	NC
62	Separador de gas	restricción de gas	motor no arranca	tanque lleno de líquido	3	2	3	18	NC
63	Válvula reguladora	Restricción de gas	motor no arranca	válvula cerrada	2	4	3	24	SM
64	Válvula reguladora	Restricción de gas	paro inesperado	descalibración	4	3	2	24	SM
65	Gobernador	Restricción de gas	motor no arranca	descalibración	2	1	3	6	NC
66	Gobernador	sobre velocidad	paro inesperado	descalibración	4	2	4	32	SM
67	Tubería de gas	fuga de combustible	Motor no arranca	tubería rota	3	3	3	27	SM
68	Rodaje Piloto	Ruido	Pérdida de tracción	mala operación	4	1	3	12	NC
69	Filtro de aire	Restricción de aire	Golpeteo en el motor	filtro taponeado	2	4	1	8	NC
70	Biela	Detonación	Deformación	mal sincronismo	4	3	1	12	NC
71	Culata	Baja compresión	Pérdida de potencia	Desgaste de camisa	1	4	4	16	NC
72	Separador de gas	combustible húmedo	detonación	falla en la purga	3	3	1	9	NC

73	Cable de bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	cable roto	3	4	3	36	SM
74	Rodamiento de	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	3	4	4	48	C
75	Metales de biela	Fricción	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	1	1	3	3	NC
76	Camisa	Baja compresión	Sobrecalentamiento	Rotura	2	1	4	8	NC
77	Válvula reguladora	alta presión de gas	detonación	descalibración	1	2	2	4	NC
78	Filtro de aire	Restricción de aire	alto consumo de	filtro taponeado	3	2	4	24	SM
79	Yugo y collarín	Ruido	No hay tracción	rotura	2	2	2	8	NC
80	Fibras	Rotura	No hay tracción	mala operación	4	1	3	12	NC
81	Bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del	Suciedad	1	2	3	6	NC
82	Válvula reguladora	mezcla rica	detonación	descalibración	3	1	3	9	NC
83	Bujía	Oscilaciones	Parada de motor	Excesivo entrehierro	1	3	1	3	NC
84	Cruceta	Ruido	Ralladuras en camisa	Limallas en el aceite	4	3	4	48	C
85	Válvula reguladora	Restricción de gas	pérdida de potencia	mala selección	2	3	3	18	NC
86	Filtro de aire	Restricción de aire	Combustión	filtro taponeado	2	4	2	16	NC
87	Bujía	Ruido	Detonaciones	Suciedad	3	3	4	36	SM
88	Cable de bujía	Circuito abierto	Falla en el arranque	Cable suelto	2	4	2	16	NC
89	Gobernador	baja velocidad	Parada de motor	descalibración	4	4	3	48	C
90	Tubería de gas	Restricción de gas	Motor no arranca	tubería taponeada	3	4	3	36	SM
91	Válvula de	Restricción de gas	motor parado	válvula cerrada	1	4	3	12	NC
92	Yugo y collarín	Ruido	Vibración	mal ajuste	4	2	3	24	SM
93	Yugo y collarín	Ruido	Vibración	rotura	4	4	3	48	C
94	Bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del	Excesivo entrehierro	1	2	2	4	NC
95	Cable de bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del	Cable a tierra	2	2	2	8	NC
96	Cable de bujía	Golpeteo del motor	Alta vibración del	Cable suelto	3	1	2	6	NC
97	Tuberías	Rotura de tubería	Sobrecalentamiento	corrosión	4	4	1	16	NC
98	Cigüeñal	Desbalanceo	Alta vibración	Falla de montaje	4	3	1	12	NC
99	Cigüeñal	Desbalanceo	Alta vibración	falla de mantenimiento	2	4	2	16	NC
100	Rodamiento de	Ruido	Sobrecalentamiento	desgaste	1	1	2	2	NC
101	Rodamiento de	rotura	deformación de eje	rotura de rodamiento	4	2	4	32	SM
102	Metales de biela	Ruido	sobrecalentamiento	Desgaste de metales	4	4	4	64	C
103	Biela	Detonación	Altas vibraciones	mal sincronismo	4	1	3	12	NC
104	Cableado eléctrico	Ruido	Detonaciones	cable suelto	1	2	3	6	NC
105	Faja de ventilador	No hay flujo de aire	Sobrecalentamiento	rotura de faja	4	2	3	24	SM
106	Falla del Carter	Fuga de aceite	Sobrecalentamiento	tapón de Carter roto	1	2	2	4	NC
107	Falla del Carter	Fuga de aceite	Sobrecalentamiento	Carter roto	1	4	2	8	NC
108	Bujía	Disminución de rpm	Pérdida de potencia	Bujías engrasadas	1	1	4	4	NC
109	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	Deformación de eje	rotura	3	1	2	6	NC
110	Cable de bujía	Ruido	Detonaciones	Cable suelto	3	4	1	12	NC
111	Cable de bujía	Ruido	Detonaciones	Cable a tierra	3	2	2	12	NC
112	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	No hay tracción	desgaste	2	1	2	4	NC
113	Polea de ventilador	Ruido	Alta Vibración	pernos flojos	4	1	3	12	NC
114	Polea de ventilador	Ruido	Alta Vibración	desgaste de rodamiento	4	3	1	12	NC
115	Rodamiento de eje de embrague	Ruido	Sobrecalentamiento	mala lubricación	2	2	4	16	NC
116	Cremallera	Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	3	3	3	27	SM
117	Cremallera	Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	3	3	2	18	NC
118	Acople	No hay corriente	motor no arranca	Batería mala	4	2	3	24	SM
119	Acople	No hay corriente	motor no arranca	Cable de batería roto	2	4	2	16	NC
120	Acople	Rotura de dientes	motor no arranca	Desgaste de dientes	3	3	1	9	NC
121	Acople	Vibración	motor no arranca	Desgaste de dientes	1	2	2	4	NC
122	Acople	Rotura de horquilla	motor no arranca	Desgaste de horquilla	4	4	3	48	C
123	Ventilador	Apas rotas	Sobrecalentamiento	rotura de aspas	3	4	3	36	SM
124	Palanca de Acople	Rotura de palanca	No hay tracción	desgaste de material	1	4	1	4	NC

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Objetivo

El principal objetivo de la presente investigación es aumentar la disponibilidad de los 4 tipos de maquinarias de la empresa, esto se logrará en base a eliminar el desgaste del sistema de motor, hidráulico y de transmisión. En la tabla 51, se muestra el impacto de los resultados metodológicos en el proceso pre aplicación de la propuesta y post.

Tabla 49 Indicadores antes y después de la mejora

Objetivo	Indicador	Actual	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Meta
Asegurar la Disponibilidad Mecánica de los Equipos	Utilización de las maquinarias	45%	56%	60%	65%	78%	86%	92%	90%
	MTTR (Horas)	5	4.9	4.3	4	3.9	3.6	3.5	3.4
	MTBF (Horas)	68.30	69.45	71.40	75.80	80.82	82.82	90.67	92.82
	Disponibilidad (%)	81.40%	81.53%	82.78%	85.67%	87.09%	89.60%	93.10%	92%
	Horas de paradas (Horas)	260	250	246.7	231	210	145	123	100
	Paradas no programadas/ Total de paradas (%)								
	Retroexcavadoras	65%	60.80%	63.20%	50.30%	53.30%	45.60%	30.00%	30%
	Excavadoras	70%	68.40%	58.40%	49.70%	58.40%	46.50%	33.20%	30%
	Cargadores frontales	62%	60.20%	55.20%	50.40%	60.50%	42.30%	34.20%	30%
	Tractores	75%	64.30%	60.30%	56.40%	58.60%	42.30%	31.20%	30%
	N° horas de paradas no programadas	178	150.7	134.9	121.9	106.7	98	82.3	79
Cumplir el Presupuesto (Gastos de Mantenimiento)	Impacto económico	70,416							
Asegurar la definición del Plan de Mantenimiento programado de Equipos	Condición de los repuestos								
	Malos	80%	61%	40%	10%	0%	1%	0%	0
	Regulares	19%	20%	34%	28%	19%	30%	20%	20%
Asegurar la ejecución del Plan de Mantenimiento programado	Cumplimiento del programa de MTO preventivo	25%	60%	79%	80%	91%	90%	93%	90%

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Actividades implementadas en la propuesta de mejora

- Excesos de desgaste en el sistema de motor, hidráulico, y transmisión: Se elaboró un programa de recuperación de maquinarias en mal estado.
- Uso de repuestos no adecuados: Se elaboró de un plan de reposición de los repuestos, se Jerarquizó los repuestos críticos de la maquinaria, se implementó el programa de las 5'S en almacén de mantenimiento.
- Falta de verificación de las condiciones de las maquinarias y repuestos: El jefe de mantenimiento se encargó de realizar el AMEF (análisis del modo y efecto de falla) de las fallas presentadas. en base al estatus determinado se elaboró el programa de reparación de base de datos de criticidad de equipos y maquinaria.
- Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo: El supervisor de mantenimiento realizó la Implementación del plan de mantenimiento planificado, plan anual, mensual y semanal de mantenimiento
- No existe un sistema que garantice la prevención del mantenimiento: Se elaboró el seguimiento de la ejecución del trabajo a través de arboles de decisión, además de la Implementación de tablero de indicadores KPI para el control de sistema de gestión de mantenimiento.

En la tabla 52 se muestra un resumen que relaciona las principales causas determinadas en la aparición de paradas no programadas en la maquinaria de la empresa y las actividades ejecutadas en el sistema de gestión de mantenimiento basado en el RCM implementado en la presente propuesta de mejora.

Tabla 50 Relación entre las causas de paradas no programas y las principales actividades elaboradas en la propuesta de mejora

CAUSAS DE PARADAS NO PROGRAMADAS	Excesos de desgaste en el sistema de motor, hidráulico, y transmisión	Uso de repuestos no adecuados	Falta de verificación de las condiciones de las maquinarias y repuestos	Falta de cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo	No existe un sistema que garantice la prevención del mantenimiento	Falta de un sistema de gestión de mantenimiento confiable
Actividad	Programa de recuperación de maquinarias en mal estado	Elaboración de un plan de reposición de los repuestos	Elaboración del AMEF (análisis del modo y efecto de falla) de las fallas presentadas.	Implementación del plan de mantenimiento planificado, plan anual, mensual y semanal de mantenimiento	Seguimiento de la ejecución del trabajo a través de arboles de decisión.	Elaboración de programa de gestión de mantenimiento en base al sistema RCM.
		Jerarquización de los repuestos críticos de la maquinaria.	Reparación de base de datos de criticidad de equipos y maquinaria		Implementación de tablero de indicadores KPI	
		Implementación de las 5'S en almacén de mantenimiento				
		Construcción de nuevo almacén de repuestos				
		Programa de compra de repuestos críticos				

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Resultados de la aplicación de la mejora

Como se determinó en el análisis de la problemática de la empresa, la propuesta implementada en la empresa TEMASA S. A. tenía los siguientes objetivos

- Elaborar programa de gestión de mantenimiento en base al sistema RCM.
- Realizar el AMEF (análisis del modo y efecto de falla), de las fallas presentadas.
- Evaluar los efectos del sistema en los resultados de disponibilidad, paradas no programadas, presentación de fugas del programa.

Luego de implementar los planes de acción se realizó un seguimiento de los indicadores KPI implementados para la gestión del mantenimiento mostrado en la tabla 51. En la figura 38 se muestra el diagrama con los porcentajes de utilización de las maquinarias antes y después de la implementación de la propuesta. Al ver estas gráficas podemos asegurar que los planes de acción dieron resultados desde el mes de abril, a partir de la programación de la mejora del estado de las maquinarias que requirió una inversión en repuestos de primera calidad y en corrección de los elementos de las maquinarias desgastados.

Figura 38 Mejora de la utilización de la maquinarias

Fuente: Elaboración propia

Durante los meses después de la implementación de la mejora se presentó una disminución del MTTR, el cual se redujo de 5 horas a 3.5 horas, lo que benefició la disminución del tiempo medio de reparación y así aumentó el tiempo de utilización de la máquina visto previamente. Pese a que aun no se alcanza la meta de 3.4 horas de tiempo de reparación se ve en la figura 43 una tendencia sistemática en la reducción del tiempo, esto está relacionado con la mejora del entrenamiento del personal y con las mejoras en el almacén de repuestos críticos y la caracterización de los factores críticos más importantes.

Figura 39 Mejora del tiempo medio de reparación (MTTR)

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se registro el tiempo medio entre fallas dentro del tablero KPI implementado en la gestión, se presentó un incremento del MTBF, lo cual disminuyó los costos de parada, debido a que estos costos disminuyen al tener un mayor tiempo medio entre fallas. Esto se puede apreciar en la Figura 40. que muestra el comportamiento del MTBF mensual antes y después de la implementación.

Figura 40 Mejora del tiempo medio entre fallas (MTBF)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se ve la evolución de la disponibilidad desde el mes de marzo (actual) y en los meses posteriores a la implementación de las mejoras. En comparación con el mes de marzo se obtiene un aumento de disponibilidad de máquina, de 81 % a 93 % en el mes de setiembre. Estos resultados demuestran que las causas de fallas halladas durante la elaboración del AMEF y el árbol lógico de decisión han sido las correctas.

Figura 41 Mejora de la disponibilidad de la maquinaria (OEE)

Fuente: Elaboración propia

La razón por la cual la sección producción tiene un descenso en sus horas de parada es porque una de las causas de la aparición de paradas en las maquinarias los desgastes de sistemas hidráulicos y mecánicos ha sido controlada mediante la mejora de las condiciones de los repuestos en el almacén, al mejorar la condición de los repuestos mediante repuestos de calidad y marca garantizada, se realizó la renovación del bien garantizando su durabilidad.

Figura 42 Resultados de las horas de paradas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se muestra la reducción sistemática de las horas de paradas no programadas, la cual se redujo en un 110 % desde marzo hasta setiembre del presente año, esto se demuestra por la mejora de la calidad de las maquinarias a través de la reducción del impacto de las causas de las fallas de excentricidad ocurridas por la falta de mantenimiento preventivo en el sistema, con lo cual las paradas presentadas no tenían sistema de soporte para su rápida intervención.

Figura 43 Reducción de las paradas no programadas

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se muestra la relación de paradas no programadas dentro del total de paradas presentadas para el caso de la maquinaria retroexcavadora, de acuerdo a la información presentada se aprecia la reducción de las horas de paradas no programadas, la cual se redujo hasta alcanzar la meta del 30 % de total de horas paradas. Esto demuestra la efectividad de la realización de los programas preventivos para evitar la aparición de paradas no programadas.

Figura 44 Paradas no programadas/ Total de paradas (%) de las retroexcavadoras

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se muestra la relación de paradas no programadas dentro del total de paradas presentadas para el caso de la maquinaria excavadora, de acuerdo a la información presentada se aprecia la reducción de las horas de paradas no programadas, la cual se redujo hasta casi alcanzar la meta del 30 % de total de horas paradas, presentando para el mes de setiembre un total de 33 % de las paradas ocurridas sin programación.

Figura 45 Paradas no programadas/ Total de paradas (%) de las excavadoras

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se muestra la relación de paradas no programadas dentro del total de paradas presentadas para el caso los cargadores frontales de la empresa, de acuerdo a la información presentada se aprecia la reducción de las horas de paradas no programadas, la cual se redujo hasta casi alcanzar la meta del 30 % de total de horas paradas, presentando para el mes de setiembre un total de 34 % de las paradas ocurridas sin programación.

Figura 46 Paradas no programadas/ Total de paradas (%) de los cargadores frontales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 47 se muestra la relación de paradas no programadas dentro del total de paradas presentadas para el caso de los tractores, de acuerdo a la información presentada se aprecia la reducción de las horas de paradas no programadas, la cual se redujo hasta casi alcanzar la meta del 30 % de total de horas paradas, presentando para el mes de setiembre un total de 31.2 % de las paradas ocurridas sin programación.

Figura 47 Paradas no programadas/ Total de paradas (%) de los tractores

Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 se muestra la mejora en la condición de los repuestos de las maquinarias de la empresa. La empresa partió de la identificación de estados de los repuestos contenidos en el almacén de la empresa, de acuerdo a este diagnostico el 80 % de los repuestos se encontraba en malas condiciones. A través de la implementación del programa de criticidad de repuestos y la mejora de las condiciones de los repuestos se eliminaron los repuestos en mal estado.

Figura 48 % de repuestos en malas condiciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se muestra el efecto del programa de criticidad de repuestos y la mejora de las condiciones de los repuestos sobre la condición de los equipos, consiguiendo que los repuestos en estado regular se mantengan solo en un 20 % de total de los repuestos usados y mantenidos en el almacén.

Figura 49 % de repuestos en condiciones regulares

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se el seguimiento del cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo implementado en la empresa, con lo cual se concluye que la mejora en la programación y cumplimiento de las actividades de prevención tuvo un efecto clave en la mejora de los indicadores KPI de mantenimiento.

Figura 50 Cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información mostrada al mes de setiembre, desde el mes de marzo a diciembre se observó una disminución de horas de parada no programadas en todas las maquinarias de la empresa bajo estudio, lo cual demuestra que el diseño de la propuesta de mejora ejecutada en el área de mantenimiento de la empresa TEMASA es eficaz en el logro de los objetivos planteados en el presente estudio. Ello debido a que algunas causas de fallas presentadas en la maquinaria estaban relacionadas al mas estado de los equipos y repuestos de las maquinarias, por lo cual una mejora en su condición mediante la reposición de repuestos de calidad y equipos nuevos, mejorar la operatividad de la maquinaria. Así mismo la implementación del mantenimiento como sistema de gestión que interviene desde la prevención hasta el control de la ejecución de las actividades planificadas ha sido beneficiosa para la empresa en términos de resultados de productividad de la maquinaria con nivel de utilización de 90 %.

3.6 Aporte metodológico

En la figura 51, se muestra un resumen del aporte metodológico del sistema RCM aplicado en la empresa bajo estudio, en el cual se colocó como pilares el aumento de la planificación de las actividades, un plan de mejora de los repuestos y la jerarquización de las actividades críticas.

Figura 51 Diagrama del aporte metodológico del sistema RCM en la empresa

Planeación	Mejora	Control
<ul style="list-style-type: none">•Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo.•Priorización de las actividades a través del análisis AMEF.•Elaboración de un plan de reposición de los repuestos.•A través de la jerarquización de los repuestos críticos de la maquinaria.	<ul style="list-style-type: none">•Identificación sistemática del trabajo a través del AMEF.•Elaboración de un plan de trabajo personal	<ul style="list-style-type: none">•Seguimiento de la ejecución del trabajo a través de árboles de decisión.•Evaluación del trabajo a través de la implementación de tablero de control.•Evaluación del cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo.

Fuente: Elaboración propia

3.7 Simulación

Primero

Ingreso del usuario: TEMASA

Contraseña: 123456

Con el usuario y la clave permite que solo administre el personal autorizado y capacitado para los mantenimientos de las maquinarias pesadas.

Fuente: Elaboración propia

Segundo

Es una pantalla azul se observa un registro de eventos de cada máquina, se especifica qué tipo de tarea se está realizando hasta el orden de trabajo que con los check les se contabilizara para tener un control de los repuestos que se están usando para cada equipo, también esto disminuirá en un 60% los inventarios de los componentes. Además, en este cuadro se puede ver el historial de las máquinas y también poder guardar nuevos datos.

Comentario de Eventos

REGISTRO DE EVENTOS

Fila de la hoja 23243

Tipo de tarea

Código de componente

Causa

Estado de tarea

Descripción

Orden de trabajo

VER HISTÓRICO

Guardar Registro Nuevo 17

Fuente: Elaboración propia

Tercero

Esta página es el menú principal de todas las funciones que se realiza y también se puede guardar datos. Con este sistema nos permite tener mayor disponibilidad de las maquinas ya que se llevará un mejor registro de los mantenimientos realizados en los proyectos o en las obras.

MENU DE MANTENIMIENTO TEMASA

0 Actividades	8 Costos de Reparacion
4 Mantenimiento Correctivo	9 Listado de Equipos
5 Mantenimiento Preventivo	10 Tabla de Mantenimiento
6 Reporte diario de Equipo	11 Manual de Partes
7 Historial de Equipo	12 Manual de Operaciones

Fuente: Elaboración propia

Cuarto

Tipo de tarea	Codigo de componente	Causa	Estado de tarea	Descripción	Orden de trabajo	Frecuencia	Inicio
EV	4300-Sistema Eléctrico	Vida útil	C	Pelotobinado de estator del generador quemado	V1956245-1410	2	1
EY	2100-Transmisión (TVS/N)	Vibración	C	C_Evaluación de Transmisión/Sonido Anormal FESA	V203800-1412	2	4
GR	015-Filtro de Aceite de Motor	Vibración	C	BL_Cambio de abrazaderas de base de filtro de aceite_rotura	V196703-1501	4	1
GR	470-Switch	Mala	C	BL_Cambio de Switch de Presión_Puntera	V200045-1501	4	2
GR	5300-Sistema de Engrase	Falta de	C	EL_Cambio de sensor de presión de grasa - Alerta 01	V195501-1501	20	3
EV	4300-Sistema Eléctrico	Falta de	C	C_Evaluación de Sistema Eléctrico	V200027-1501	52	4
CS	4720-Motor de Ventilador / Fan	Vida útil	C	BL_Cambio de motor del fan_desgaste	V198132-1501	1	1
ME	5200-Entoror	RECOMPLET	C	C_Fabricación de base de entoror, mejora de diseño	V210003-1501	2	2
CE	2100-Transmisión (TVS/N)	Vida útil	C	2100.0.CE.0.CAMBIAR TRANSMISION(falta de aceite)	V198725-1410	4	3
FA	4700-Umbra Hidráulica	Sopladado	C	C_Cambio de Seto de Umbra Hidráulica - FLESCIA	V200405-1501	12	4
FA	5400-ARMASQUETEA DE SECCION	Sopladado	C	C_Instalación de Línea de Succion de Bomba High-FESSEA	V195503-1501	9	0
RE	6100-Bastidor / Chasis / TRACK FRAME	Falta de	C	BL_Reparación de Bastidor Chasis LNH/Figura	V214890-1502	12	1
EV	102-Compresor Motor	Vida útil	C	C_Reparación de Compresor Instalación h. overhaul_Sonido Anormal	V210794-1502	1	1
OR	8870-Levar y Limpia - Equipos	Contaminación	C	LAVADO Y LIMPIEZA DE EQUIPO	V200743-1412	14	3
CA	6200-Alumbramiento	Pérdida de	C	C_Paseo de HERR de Motor LNH/0 Acciones(A 0 HRS)FESA	V200922-1412	15	2
CM	2150-Manguera de Bomba Principal	Vida útil	C	C_Cambio de Manguera Hidráulica de Bomba Principal_fuga	V200007-1502	11	0
RC	102-Compresor de Aire Acondicionado	Falta de	C	C_Evaluación y Carga de Gas Refrigerante de A/C/RH01	V200034-1412	2	1
CS	4100-Faros Delanteros	Vida útil	C	C_Cambio de Faros Delanteros De Trabajo/Quemado	V200831-1412	8	3
SP	1942-Pump-PM	Vida útil	C	1942.0.SP.0.INSPECCION PUMP	V200786-1412	8	1
CE	2440-Reductor de Giro	Sobree	C	2440.0.CE.0.CAMBIAR REDUCTOR DE GIRO DERECHO	V200927-1504	7	3
CE	2440-Reductor de Giro	Sobree	C	2440.02.CE.0.CAMBIAR REDUCTOR DE GIRO DERECHO	V200928-1504	7	3

Fuente: Elaboración propia

Esta página nos indica las actividades de todos los quipos, donde se especifica por tipo de tarea si la maquina esta crítica, semi critica; para cada componente de la maquinaria que labora en minera, proyectos de obras civiles, se observa que también registra motivo que paro el equipo, luego en la tabla se observa la descripción de la falla y finalmente se realiza en un registro de trabajos para cada componente si es por semanas desde que se pone el repuesto nuevo y luego cada periodo que hace una inspección técnica del componente como se encuentra para así cambiar antes que falle.

3.6.1 Conclusión de la simulación

- La simulación nos permite tener mayor facilidad de registro de los eventos de las que presentan mayores fallas que según el tipo de causa nos mostrara si es crítico “C”, Semi crítico “SM” y no crítico “NC”.
- Se contará con un acceso para ver el registro de historial de la maquinaria para saber si cumple con los mantenimientos programados por los supervisores.
- Nos permitirá tener mayor control de los equipos que traban en industria u obras civiles teniendo la disponibilidad del 90% de la maquinaria para su producción.
- El modelo propuesto consigue alinear objetivos de mantenimiento en RCM con una mejora continua para una pyme, generando mayor rentabilidad para la empresa y satisfacción para sus trabajadores, ya que, no tendrían tiempos muertos.
- Ejecutar la implementación de la simulación del sistema de gestión de mantenimiento, tendrá como fin una verdadera organización administrativa y funcional para los diferentes proyectos que realiza la empresa.

CAPITULO 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1 Flujo de ingresos del proyecto

Para la evaluación económica del proyecto se calcularán las eficiencias mensuales de la empresa en donde las ventas serán el OEE (Eficiencia General de los Equipos) de la empresa en el mes correspondiente por la producción programada mensual en efectivo, menos los egresos (costos y gastos) para obtener los flujos de efectivo que para este caso serán los ingresos. En la tabla 53, se muestra el flujo proyectado de ingresos de la empresa, a partir de la aplicación de la mejora en el área de mantenimiento de la empresa el incremento del nivel de eficiencia OEE tiene un impacto en la reducción de los costos de operación.

Los ahorros en costos se consideran gracias al impacto del aumento del OEE de la operación, de acuerdo a estos cada 1 % de OEE incrementado tiene un efecto de ahorro de 2300 soles en promedio considerando el aumento de la disponibilidad de horas para realizar trabajos para los clientes.

Tabla 51 Ahorros por la implementación del Proyecto

Año	Mes	· · · Eficiencia	Ventas (=)	Ahorros por eficiencia	Costos de operación - Ahorro	· · · Ingresos (=)
2016	Agosto	63%	104,005	2,308	33,054	70,951
	Septiembre	64%	106,397	2,308	33,867	72,530
	Octubre	67%	108,844	6,924	30,083	78,761
	Noviembre	70%	111,348	7,732	30,126	81,221
	Diciembre	74%	113,909	8,118	30,611	83,298
2017	Enero	78%	116,529	8,524	31,095	85,433
	Febrero	81%	114,198	8,951	29,877	84,321
	Marzo	86%	116,825	9,398	30,322	86,502
	Abril	90%	119,512	9,868	30,766	88,746
	Mayo	94%	122,260	10,361	31,207	91,053

	Junio	99%	125,072	3,245	39,280	85,793
	Julio	99%	123,822	2,403	39,696	84,125
	Agosto	98%	126,298	2,503	40,438	85,860
	Septiembre	99%	129,203	2,303	41,626	87,577
	Octubre	98%	126,619	2,203	40,847	85,771
	Noviembre	99%	129,531	2,903	41,138	88,393
	Diciembre	97%	132,510	2,103	42,950	89,560
Total			2,026,880	92,155	596,984	1,429,896

Fuente: Elaboración propia

4.2 Gastos de implementación del proyecto

La propuesta de mejora expuesta en el presente estudio pretende disminuir los costos incurridos por las paradas no programadas. Para ello se realiza la implementación propuesta en la cual los recursos necesarios están representados por:

- Costos de mantenimiento preventivo.
- Gastos para la implementación de las 5S.
- Compra de repuestos originales y soporte de ser necesario
- Capacitación a dos 2 supervisores que iniciaran el proceso de mantenimiento RCM

En la tabla 52, se muestra el resumen de los principales gastos que implica la implementación de la gestión de mantenimiento basada en el sistema RCM para la empresa TEMASA.

- Los supervisores serán capacitados en instituciones como TECSUP, que brinda adiestramiento y gestión de mantenimiento para equipos mineros, lo cual constara de una capacitación de 2 semanas costando un monto para los dos supervisores de S/ 13, 000.00 soles.
- Se realizará una capacitación al personal de la comunidad con el manejo del soporte macro Excel durante semana y media hasta que se familiarice, también se realizará capacitaciones continuas de técnicas de mantenimiento en campo y en taller, brindándoles hojas check list para que anoten todas las ocurrencias de los equipos.

Tabla 52 Gastos de implementación de la propuesta de mejora

Sueldos

S/.

Supervisor de confiabilidad	6,500
Supervisor de confiabilidad	6,500
Adquisiciones tangibles	
Soporte de confiabilidad	3,000
Gastos de implementación	
Capacitación al personal de la comunidad	4,000
Compra utilitarios	5,000
Total de Egresos	25,000
Ahorro por la reducción de las paradas no programadas	
	70,416

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53 Gastos en herramientas operativas

Herramientas operativas	Costos de implementación
Construcción de un nuevo almacén	10,943

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54 Gastos en herramientas de mantenimiento

Herramientas de mantenimiento	Costos de implementación
Recuperación de maquinarias	1498
Compra de repuestos críticos	21,440
Total	22,938

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55 Gasto varios del proyecto

Gastos varios	Costos de implementación
Uniformes	376
Herramientas de seguridad para el personal,	218
Pago de tiempos extras,	1325
Capacitaciones a personal de actividades específicas	453

Total	2,372
-------	-------

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 56, se muestra el total de gastos de implementación de la propuesta de mejora de implementación del sistema RCM en la empresa, el cual supone un desembolso de 64 003 soles para el proyecto.

Tabla 56 Total de gastos de implementación del proyecto

Recurso	Costos de implementación
Reparación de base de datos	2,300
Capacitación operativos	450
Herramientas operativas	10,943
Herramientas de mantenimiento	22,938
Gastos varios	2,372
Personal	25,000
TOTAL	64,003

Fuente: Elaboración propia

4.3 Flujo de caja proyectado

En la tabla 57, se muestra el flujo de caja proyectado para el periodo de implementación del proyecto, el proyecto dura en la implementación un periodo de 18 meses.

Tabla 57 Flujo de caja del proyecto

	Año 0	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
INGRESOS		106,397	108,844	111,348	113,909	116,529	114,198	116,825	119,512	122,260	125,072	123,822	126,298	129,203	126,619	129,531	132,510
Ahorros por la implementación (Aumento de OEE)		62,403	105,440	107,865	110,346	112,884	115,481	115,130	115,774	118,437	121,161	123,947	124,322	125,307	128,041	127,652	128,366
EGRESOS																	
Reparación de base de datos		2,300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,300	0	0	0	0	0
Capacitación operativos		450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Herramientas operativas		10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943	10,943
Herramientas de mantenimiento		22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938	22,938
Gastos varios		2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372	2,372
Personal		25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000	25,000
Inversión del proyecto	-64,003																
Amortización de Financiamiento			1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700	1,700
Total Egresos		64,003	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253	63,553	61,253	61,253	61,253	61,253	61,253
Flujo del Mes		-1,600	44,187	46,612	49,093	51,631	54,228	53,877	54,521	57,184	59,908	60,394	63,069	64,054	66,788	66,399	67,113
<i>Caja al inicio del mes</i>																	
Caja al final del mes		-1,600	44,187	46,612	49,093	51,631	54,228	53,877	54,521	57,184	59,908	60,394	63,069	64,054	66,788	66,399	67,113
Caja mínima requerida		5,000	5,001	5,002	5,003	5,004	5,005	5,006	5,007	5,008	5,009	5,010	5,011	5,012	5,013	5,014	5,015
Excedente (déficit) acumulado	-64,003	-6,600	39,186	41,610	44,090	46,627	49,223	48,871	49,514	52,176	54,899	55,384	58,058	59,042	61,775	61,385	62,098

Fuente: Elaboración propia

4.4 Evaluación de TIR y VAN

En la tabla 58 se muestra el cálculo de los resultados de la tasa interna de retorno y el valor actual neto del proyecto.

Tabla 58 Cálculo de TIR y VAN del proyecto

1

Datos para el análisis

importe

Inversión64,003

MESES

inversión	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
Flujo de caja (neto anual)	-64,003	-6,600	39,186	41,610	44,090	46,627	49,223	48,871	49,514	52,176	54,899	55,384	58,058	59,042	61,775	61,385	62,098

2

Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.

%

Tasa de descuento15.00%

V.A.N a 18 meses175,142

Valor positivo, inversión (en principio) factible

T.I.R a 18 meses44.23%

Valor inferior a la tasa, inversión a analizar con detalle.

Descripción de la evaluación

La inversión en el proyectos es aconsejable, y a que el VAN es positivo resulta positivo con un ingreso de 175 mil soles más a lo que pide la empresa. En este caso, si la empresa lleva a cabo la inversión, ganará el 12% más 175 mil soles más. En el momento en que se lleva a cabo la inversión, si se cumplen todas las hipótesis, la empresa aumentará su riqueza en el 15% más 175,142 soles.

Por otro lado, en este caso, la TIR sería igual a 44,23 %; esta rentabilidad obtenida debe compararse con la rentabilidad que desea la empresa, para que ésta decida si vale o no la pena invertir. Para el caso de la empresa bajo estudio la rentabilidad mínima deseada es del 15%, por lo tanto podemos concluir que la inversión en el proyecto vale la pena, y a que la TIR es superior a dicha tasa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De acuerdo a lo revisado en la bibliografía respecto a los principales retos de las empresas dedicadas a la tercerización del servicio de maquinarias, se resalta que las empresas requieren competencias específicas, técnicos entrenados y un equipo en adecuadas condiciones para asegurar una alianza estratégica con sus clientes. Lo cual nos permite determinar que un factor clave del éxito de este tipo de empresas será la consolidación de la disponibilidad de sus maquinarias y la calidad de sus equipos, lo cual garantice el cumplimiento de los plazos y operatividad en las instalaciones de los clientes.
- El tener un programa de mantenimiento preventivo tiene un impacto fuerte en la reducción de los costos de mantenimiento pues con él se reducen las reparaciones mayores (las de mayor impacto) y las paradas bruscas en la producción, y por lo tanto ayuda a mantener un flujo de trabajo constante. Es por ello que todo sistema de mantenimiento se basa en la prevención de eventos.
- Las herramientas de análisis modal de fallos y efectos (AMFE) y árbol de decisiones son las más populares usadas en la prevención efectiva de problemas usadas en los sistemas de gestión de mantenimiento. Su éxito se basa en que ayudan a definir, identificar y eliminar los posibles fallos y errores de un sistema mediante la participación de todos los empleados relacionado con el sistema.
- Se hace vital el reconocer que la filosofía RCM emplea herramientas de mantenimiento preventivo, además del mantenimiento predictivo, monitoreo en tiempo real de algunos indicadores como el tiempo promedio entre fallas y el mantenimiento proactivo. Con el objetivo de aumentar la probabilidad que una máquina o componente funcione de la forma adecuada durante su ciclo de vida útil con un mínimo de mantenimiento, el cual nos lleve a un mínimo de costos de mantenimiento.
- La empresa bajo estudio. ha establecido como una de las prioridades en el servicio de alquiler y mantenimiento de maquinaria pesada la fiabilidad a sus clientes. En sus

operaciones Temasa posee una flota de quince unidades comprendidas entre maquinarias tipo cargador frontal, retroexcavadora, excavadora, tractores y cargadores frontales que operan en excavaciones mineras. Para la empresa es vital el garantizar a sus clientes la operatividad de estas maquinarias durante los trabajos programados, es por ello vital la disponibilidad de las mismas.

- Durante los últimos 12 meses la empresa Temasa ha presentado la reducción de la disponibilidad de la maquinaria en las obras de los clientes lo cual ha ocasionado un impacto económico que llega a ascender a 70, 416 dólares por año.
- Se utiliza la técnica de evaluación de registros históricos en donde se evalúan los posibles factores relacionados con la disminución de la disponibilidad, dando como resultado una fuerte relación con el aumento de las paradas de las maquinarias, las cuales llegaron a representar el 15 % de total de tiempo de uso de las maquinarias, debido entre paradas eléctricas y mecánicas, las cuales representan el 80 % de las causas de los desgastes.
- Para la determinación de las causas que ocasionan las paradas no programadas (problema central en el área de mantenimiento) se utilizó el método de entrevistas al personal de la empresa con mayor contacto con la problemática, entrevistándose con 8 personas en total. La aplicación de este método dio como resultado la determinación de las principales causas de las paradas: desgaste neumático, obstrucción de mangueras, mal estado de repuestos y falta de elemento de corte.
- La causa raíz determinada del problema está relacionada con la falta de un sistema de gestión del mantenimiento en la empresa, lo cual se determinó usando la herramienta de los 5 por qué.
- El diseño de un modelo de gestión del mantenimiento se realizó en base a la metodología RCM, la cual de acuerdo al análisis comparativo como la metodología TPM muestra ventajas en lo que respecta al corto tiempo de implementación, su base en elementos predictivos y preventivos y altos niveles de confiabilidad.
- El modelo de gestión se basa en la aplicación de mantenimiento preventivo (mediante programación del mantenimiento), la evaluación de las maquinarias y repuestos de acuerdo a su criticidad, la aplicación de las 5'S en el almacén de la empresa, la mejora de

la condición de los repuestos y el control de la gestión mediante guías de equipos y tablero de KPI's.

- El diseño de la propuesta de mejora elaborado en el presente trabajo muestra ser efectivo en alcanzar los objetivos trazados al inicio del análisis: Aumento de la disponibilidad de la maquinaria, reducción de los tiempos promedio entre fallos y reparaciones, mejora de la condición de los repuestos, aparición de paradas no programadas en las maquinarias y cumplimiento de las actividades de prevención. Se demostró es lo suficientemente capaz para realizar cualquier análisis de fallas para las maquinarias pesadas.
- La implementación de un sistema de gestión de mantenimiento en la empresa tiene un efecto positivo en la identificación temprana de las fallas críticas del sistema a través de la implementación del AMEF y el Diagrama de Árbol, con los cuales se descubre que las fallas críticas se originan por desgastes en distintos componentes de las 4 maquinarias.
- El aporte metodológico de la propuesta de mejora se encuentra en la demostración de la factibilidad de gestionar un sistema de mantenimiento en una empresa de servicios de mantenimiento mediana mediante el sistema RCM, a través de la aplicación de pilares como el aumento de la planificación de las actividades, un plan de mejora de los repuestos y la jerarquización de las actividades críticas.
- Mediante el uso del simulador, se concluye que el programa de RCM propuesto tiene un efecto en el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo de los sistemas de desgastes en las maquinarias, permitiendo el control de los equipos. En 7 meses de implementación se logra tener una disponibilidad superior al 90% de cada maquinaria.
- Considerando los resultados productivos obtenidos, y el impacto del OEE sobre los ingresos y ahorros en costos de operación de la maquinaria, el análisis financiero permite concluir que el proyecto tiene un VAN positivo con un total de S/. 175,142 soles más de lo que pide el proyecto para una tasa de interés del mercado del 15 %, lo cual se demuestra que la propuesta de mejora es factible. Por último, la tasa interna de retorno del proyecto 44.23%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AFEFY, Islam H. (2010) Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. En: Engineering, Vol. 2, pp. 863-873 (Consultado el 15 de Julio del 2016)
http://file.scirp.org/pdf/Engineering20101100003_85096465.pdf

ALMOMANI, Mohammed; ABDELHADI, Abdelhakim; SEIFODDINI, Hamid; XIAOHANG, Yue. (2012) Preventive maintenance planning using group technology. En: Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol. 18.No. 4. p. 472-480. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1115340740/BC5AE7E9EF4A4CB2PQ/12?accountid=43860>

CHADHA, Rajeev. (2016) Why Ask Why? En: Quality Progress. Vol. 49. N° 1. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1762043642/E431C4A334014145PQ/11?accountid=43860>

FRASER, Kym. (2014) Facilities management: the strategic selection of a maintenance system. Journal of Facilities Management. Vol. 12.No. 1. pp. 18-37. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1476459154/1A4766E26AC64EA1PQ/11?accountid=43860>

FORE, S; MSIPHA, A. (2010) Preventive maintenance using reliability centred maintenance (RCM): a case study of a ferrochrome manufacturing company. En: South African Journal of Industrial Engineering. Vol. 21. No. 1. pp. 207-233. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/722704862/1A4766E26AC64EA1PQ/1?accountid=43860>

GLEISON Hidalgo Hidalgo Martins; TATIANE Santos Lima; TIGRINHO, Carlos Eduardo; LORETE Kossowski. (2013). Projeto De Redução Do Desperdício De Matéria-Prima: Estudo De Caso Na Indústria De Embalagens De Papel No Brasil. Revista de Gestão e Projetos. Vol. 4. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1508969683/4EA325B6868346F3PQ/3?accountid=43860>

GENRIKHOV, I E. (2014). Analysis of the generalization ability of a full decision tree. Computational Mathematics and Mathematical Physics. Vol. 54. No. 6. pp. 1046-1059. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1534711011/C337E514CA944803PQ/11?accountid=43860>

GOKIENE, Ruta. (2010). Marginal Break Even Between Maintenance Strategies Alternatives. En: Engineering Economics. Vol. 21 Issue 2, p136-141. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=1089068b-538d-4f5c-98f3-5119bf5265eb%40sessionmgr101&vid=23&hid=123&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=51595273&db=bth>

JIMENEZ, JOSE (2010) Tácticas de mantenimiento. UNIVERSIDAD EAFIT ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA MEDELLIN.

(Consultado el 15 de noviembre del 2016)

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/427/JoseAndres_JimenezVergara_2010.pdf;jsessionid=CEB9DCE4D8563C301DD02B58F9E8AF4D?sequence=1

HERRERA, Isabel (2008) Tercerización de Servicios: Implicancias, alcances y nuevas obligaciones para los empleadores. En: Portal Laboral. Edición N° 013. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://www.estudioherrera.com/detalle.php?id=17&id1=178>

IDHAMMAR, Christer. (2013) Outsourcing of reliability or maintenance? En: PPI. Vol. 55. N° 4 pp. 31-34. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1330854645/1BF4EBC8A5A14F24PQ/4?accountid=43860>

INEI Encuesta Mensual del Sector Servicios Boletín Estadístico Año 2 / Edición N° 10 - octubre 2016. (Consultado el 15 de octubre del 2016)

(https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_servicios_oct2016.pdf)

KAUFMAN, Doug. (2010). CSA 2010 & outsourcing maintenance. Fleet Equipment. Vol. 6. N° 12 (Dec 2010): 20-21. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/822744024/A983E6837579483CPQ/2?accountid=43860>

KOHFELDT, Danielle; LANGHOUT, Regina Day. (2012). The Five Whys Method: A Tool for Developing Problem Definitions in Collaboration with Children. En: Journal of Community & Applied Social Psychology. Vol. 22 Issue 4, p. 316-329. (Consultado el 15 de Julio del 2016) <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=f4b93c3b-bc24-4c56-b797-a5c91e7199a7%40sessionmgr103&vid=9&hid=123&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=75176356&db=a9h>

KIANFAR, Azadeh; KIANFAR, Ferydoon (2010). Plant function deployment via RCM and QFD. Journal of Quality in Maintenance Engineering16.4 (2010): 354-366. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/756105215/2C3305A3E9B04837PQ/2?accountid=43860>

LATEEF, Olanrewaju Abdul. (2010) Case for alternative approach to building maintenance management of public universities. En: Journal of Building Appraisal. Vol. 5.3. p.201-212.
<http://search.proquest.com/docview/231110798/880A25D4B01B4345PQ/11?accountid=43860>

LINARES, Luís Orlando (2012). Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. En: Centro Azúcar. jul-sep2012, Vol. 39 Issue 3, p. 7-14. (Consultado el 15 de Julio del 2016) (<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=1089068b-538d-4f5c-98f3-5119bf5265eb%40sessionmgr101&vid=18&hid=123&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=108893924&db=a9h>)

MALDONADO, Ronald; GRAZIANI, Lucía. (2007) HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE LA CALIDAD PARA LA DIAGNOSIS: ESTUDIO DE UN CASO EN LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS CÁRNICOS. En: Interciencia. Vol. 32.No. 10. pp. 707-711. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
(<http://search.proquest.com/docview/210199650/BC81F6365BEF4433PQ/2?accountid=43860>)

MAYS, Lora. (2015). Five strategies to achieve world-class preventive maintenance. Plant Engineering. Vol. 69.No. 6: 47-50. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1711005403/BC5AE7E9EFAA4CB2PQ/1?accountid=43860>

NAILEN, Richard (2015). Root cause analysis: methodology or mythology? En: Electrical Apparatus. Vol. 68.1. pp. 19-24. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1645885058/67E3CDE63648434CPQ/1?accountid=43860>

NATCOL. (2016). Outsourcing: ahorro y eficiencia. En: Portafolio. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1768115587/EE07ABCF0A5E4C2FPQ/10?accountid=43860>

OROSA, Jose Antonio; ANGEL Martín Costa; OLIVEIRA, Armando C. (2010). New procedure for wind farm maintenance. En: Industrial Management & Data Systems. Vol 110. No. 6 p. 861-882. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/606618991/880A25D4B01B4345PQ/16?accountid=43860>

RAFIQ, MEENA y otros (2014). Falls in the elderly were predicted opportunistically using a decision tree and systematically using a database-driven screening tool. En: Journal of Clinical Epidemiology Vol. 67.Nº 8 pp. 877-86. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1536159934/4F301DF1854413DPQ/1?accountid=43860>

SALOMÓN, Edgardo (2010) Outsourcing de servicios profesionales bases para proyecto de ley - exportación de servicios. En: Arquitecto-Chacabuco. Rosario. Santa Fe. Argentina. pp. 1-20. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

http://www.apiperu.com.pe/argentina/trabajos/PPI_001_Salomon_Edgar.pdf

SCHUTZ, J; REZG, N; LÉGER, J-B. (2013). An integrated strategy for efficient business plan and maintenance plan for systems with a dynamic failure distribution. En: Journal of Intelligent Manufacturing. Vol. 24.1 pp. 87-97. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1270345766/880A25D4B01B4345PQ/5?accountid=43860>

STEFANOVIC, Slobodan; KISS, Imre; STANOJEVIC, Damjan; JANJIC, Nenad. (2014). Analysis of technological process of cutting logs using ishikawa diagram. En: Acta Technica Corviniensis Bulletin of Engineering. Vol. 7. No 4. Pp. 93-98. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://search.proquest.com/docview/1618069477/59E2605ABC8340ACPQ/2?accountid=43860>

UNZUETA-ARANGUREN, Gorka, GOTI-ELORDI, Aitor, GARITANO-ARANDA, Josune, SÁNCHEZ-GANCHEGUI, Iker. (2014) Aplicación de un sistema de gestión del mantenimiento basado en un RCM adaptado. En: DYNA - Ingeniería e Industria. Vol. 89 Issue 3, pp. 347-354. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=b74f8de5-0e61-4c4c-9fba-3c1a5bcee5b5%40sessionmgr103&vid=6&hid=123&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=96320421&db=fua>

TAY, Kai; JONG, Chian; LIM, Chee (2015). A clustering-based failure mode and effect analysis model and its application to the edible bird nest industry. En: Neural Computing & Applications. Vol. 26 Issue 3, pp. 551-560. (Consultado el 15 de Julio del 2016)

VAN NIEKERK, A J; VISSER, J K. (2010) The role of relationship management in the successful outsourcing of maintenance. En: South African Journal of Industrial Engineering. Vol. 21. No 2: 79-90. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/821295973/9E31A78CBC8C422FPQ/2?accountid=43860>

VYKYDAL, D.; PLURA, J.; HALFAROVÁ, P.; KLAPUT, P. (2015). Advanced approaches to failure mode and effect analysis (FMEA) applications. En: Metalurgija. Vol. 54 Issue 4, p675-678. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?sid=ecab160d-43ba-431d-8e4b-b7119dae4b9e%40sessionmgr101&vid=20&hid=123&bdata=Jmxhbm9ZXM%3d#AN=103284163&db=egs>

WATSON, Tim. (2013) Making a plan for preventive maintenance. En: Cranes Today Vol.45. N° 6. Pp. 47-48. (Consultado el 15 de Julio del 2016)
<http://search.proquest.com/docview/1317900021/fulltext/BC5AE7E9EFAA4CB2PQ/13?accountid=43860>

GLOSARIO

Mantenimiento Correctivo. - Orientado al diagnóstico y reparación del equipo cuando se presenta un problema técnico.

Mantenimiento Predictivo. - El mantenimiento predictivo que está basado en la determinación del estado de la máquina en operación.

Mantenimiento Preventivo o Planificado. - Aquel que se le aplica a un sistema para evitar futuros errores y problemas técnicos, evitando posibles fallas técnicas producidas por factores externos como el polvo, etc.

SIGLARIO

NPR.- Números de prioridad de riesgo.

RCM.- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

TPM.- Mantenimiento Productivo Total.

AMEF.- Análisis de Modos y Efectos de Fallas

CBM.-Mantenimiento Basado en Condición

OEE.- Eficiencia Global del Equipo

OPE.- Eficiencia Global de la Planta

OSE.- Eficiencia Global del Sistema

PaM.- Mantenimiento Proactivo.

PdM.- Mantenimiento Predictivo

PM.- Mantenimiento Preventivo