



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“MEJORA DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LOS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL DE LA EMPRESA CSR21 S.A.C.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor:

Luis Alfredo Lázaro García

Asesor:

MA Ing. Alejandro Ortega Saco

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

Dedico mi Trabajo de Suficiencia Profesional a mi familia y hermanos que siempre han estado conmigo en este camino en cada momento. También dar gracias a Dios por permitirme darme la perseverancia día a día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Virgen María por permitirme a no bajar la guardia a pesar de la situación con esta pandemia de COVID 19 a no rendirme jamás

Agradecer a la Universidad por permitirme ser parte de la formación académica donde termine mis estudios profesionales.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN EJECUTIVO	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	15
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	118
REFERENCIAS	122
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Alineación de los objetivos de la investigación con las fases de implementación del plan de trabajo.</i>	47
Tabla 2. <i>Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i>	51
Tabla 3. <i>Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i>	52
Tabla 4. <i>Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2019).</i>	52
Tabla 5. <i>Índices financieros de costos relacionados con el alquiler de equipos de la empresa (julio a diciembre 2019).</i>	54
Tabla 6. <i>Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.</i>	56
Tabla 7. <i>Lista de observación para diagnosticar los factores que inciden en la productividad de los equipos de la empresa.</i>	57
Tabla 8. <i>Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa</i>	61
Tabla 9. <i>Matriz de los porqué para evaluar las razones de ocurrencia las situaciones más frecuentes que afectan los niveles de productividad de los equipos de construcción civil de la empresa.</i>	63
Tabla 10. <i>Matriz FACTIS para la selección de la mejor alternativa de solución relacionadas con el incremento de la productividad de las maquinarias y equipos de la empresa.</i>	67
Tabla 11. <i>Asignación de responsabilidades y plazos de entrega de cada una de las actividades programadas</i>	73

Tabla 12. <i>Estimación de los costos incurridos en la implementación del RCM</i>	74
Tabla 13. <i>Maquinarias y equipos de la empresa CSR21 S.A.C.</i>	75
Tabla 14. <i>Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2019)</i>	75
Tabla 15. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2019)</i>	76
Tabla 16. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en horas (julio-diciembre 2019)</i>	76
Tabla 17. <i>Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo previo a la implementación del plan.</i>	79
Tabla 18. <i>Codificación de equipos seleccionados para el análisis RCM</i>	81
Tabla 19. <i>Hoja técnica del Cargador Frontal de la empresa</i>	82
Tabla 20. <i>Lista de partes del Cargador Frontal de la empresa</i>	83
Tabla 21. <i>Hoja técnica del Rodillo Compactador de la empresa</i>	84
Tabla 22. <i>Lista de partes del rodillo compactador de la empresa</i>	85
Tabla 23. <i>Análisis de fallas para el Cargador Frontal</i>	86
Tabla 24. <i>Tabla para evaluar la gravedad de falla (S) para la realización del AMEF.</i>	87
Tabla 25. <i>Tabla para evaluar la Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF.</i>	87
Tabla 26. <i>Tabla para evaluar la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.</i>	88
Tabla 27. <i>Evaluación de Gravedad (S), Frecuencia (O) y Detectabilidad (D) de las fallas en el Cargador Frontal Caterpillar</i>	88
Tabla 28. <i>Probabilidad de riesgo de las fallas en el Cargador Frontal</i>	89

Tabla 29. <i>Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Cargador Frontal Caterpillar.</i>	89
Tabla 30. <i>Plan de mantenimiento preventivo del cargador frontal Caterpillar</i>	90
Tabla 31. <i>Registro de mantenimiento correctivo del cargador frontal Caterpillar.</i>	97
Tabla 32. <i>Stock de repuestos para los equipos de la empresa CSR 21 S.A.C.</i>	98
Tabla 33. <i>Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).</i>	101
Tabla 34. <i>Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2020).</i>	102
Tabla 35. <i>Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2020).</i>	103
Tabla 36. <i>Índices de productividad mensual durante el proceso de alquiler a los clientes posterior a la implementación (julio a diciembre 2020).</i>	104
Tabla 37. <i>Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación posterior al plan de mejoras (estado final 2020).</i>	105
Tabla 38. <i>Variaciones en el índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación anterior y posterior al plan de mejoras.</i>	106
Tabla 39. <i>Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2020).</i>	107
Tabla 40. <i>Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2020).</i>	107
Tabla 41. <i>Horas de parada por equipos en el periodo de observación (julio-diciembre 2020)</i>	108

Tabla 42. <i>Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo posterior a la implementación del plan.</i>	109
Tabla 43. <i>Variaciones en los indicadores de mantenimiento antes y después de la propuesta</i>	110
Tabla 44. <i>Acciones realizadas en la fase de actuación.</i>	111
Tabla 45. <i>Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación</i>	114
Tabla 46. <i>Determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta</i>	116
Tabla 47. <i>Determinación del tiempo de retorno de la inversión prevista para la implementación</i>	117

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación geográfica de la empresa.....	12
<i>Figura 2.</i> Organigrama de la empresa.....	14
<i>Figura 3.</i> Esquema de implementación del RCM.....	29
<i>Figura 4.</i> Esquema de implementación del Ciclo de Deming.....	35
<i>Figura 5.</i> Mapa de procesos - alquiler de equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 S.A.C.....	50
<i>Figura 6.</i> Tipo de costos incurrido por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes.....	55
<i>Figura 7.</i> Índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.....	56
<i>Figura 8.</i> Diagrama de Ishikawa o de causa y efecto de los factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa.....	60
<i>Figura 9.</i> Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa.....	62
<i>Figura 10.</i> Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras basadas en RCM para la gestión de mantenimiento.....	71
<i>Figura 11.</i> Actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM.....	72

RESUMEN EJECUTIVO

La experiencia profesional realizada tuvo como objetivo implementar mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC, en la que se observó inconformidades en las operaciones de mantenimiento las cuales inciden negativamente sobre la eficiencia y generan insatisfacción de los clientes y baja productividad en los equipos alquilados por la empresa, con un índice de 87% en la medición inicial. Para ello, se elaboró un diagnóstico en el cual se obtuvo que los principales factores que afectaban la productividad eran: falta de mantenimiento preventivo, inexistencia de procedimientos de mantenimiento, falta de inspección diaria y no se había realizado capacitación al personal. Para mejorar la situación planteada, se llevó a cabo la aplicación de la metodología RCM, lo que implicó la determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad, definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado, análisis de modo de fallas para los equipos, plan de mantenimiento preventivo, control y seguimiento del plan de mantenimiento y adquisición de stock de repuestos, además de un plan de capacitación, con lo que se logró incrementar la disponibilidad de los equipos de 90.8% hasta 93.8%, y la productividad se incrementó a 93.4%, con un aumento del 6.4%.

Palabras clave: mantenimiento centrado en la confiabilidad, productividad, disponibilidad, mantenibilidad, tiempo medio entre fallos, tiempo promedio de reparaciones.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Contextualización de la experiencia

La experiencia en la empresa fue bajo el cargo de Asistente Planner Junior en el área de Servicio de Equipos, donde se desarrolló como parte de la con responsabilidad, la inspección de equipo y saber identificar el mantenimiento adecuado con un programa de mantenimiento y los trabajos en equipos con el área de servicios; además del control de inventario de los equipos.

Descripción de la empresa

La empresa CSR21 S.A.C es una organización dedicada al servicio de ventas de repuestos, alquiler de equipos y mantenimiento de maquinarias para la construcción civil. Tiene un registro de creación del 21 de enero 2018, representado por el gerente general Quiroz Santillana Cesar, identificada con el RUC 20602930930.

La empresa se encuentra ubicada en Av. Carabayllo N° 401, Comas, Lima Metropolitana – Perú. Dicha empresa que está en crecimiento a pesar de su corto tiempo en el mercado laboral compitiendo día a día. Este crecimiento lo está permitiendo generar una sólida relación con empresas constructoras, mineras e industriales del país, dentro del desarrollo está

Incluso cuenta con un área de soporte técnico para que siga el flujo de la operación correspondiente de la disponibilidad de los equipos que se encuentren alquilados, así como realizar el mantenimiento integral de las máquinas de diversos clientes que los requiere la demanda laboral.

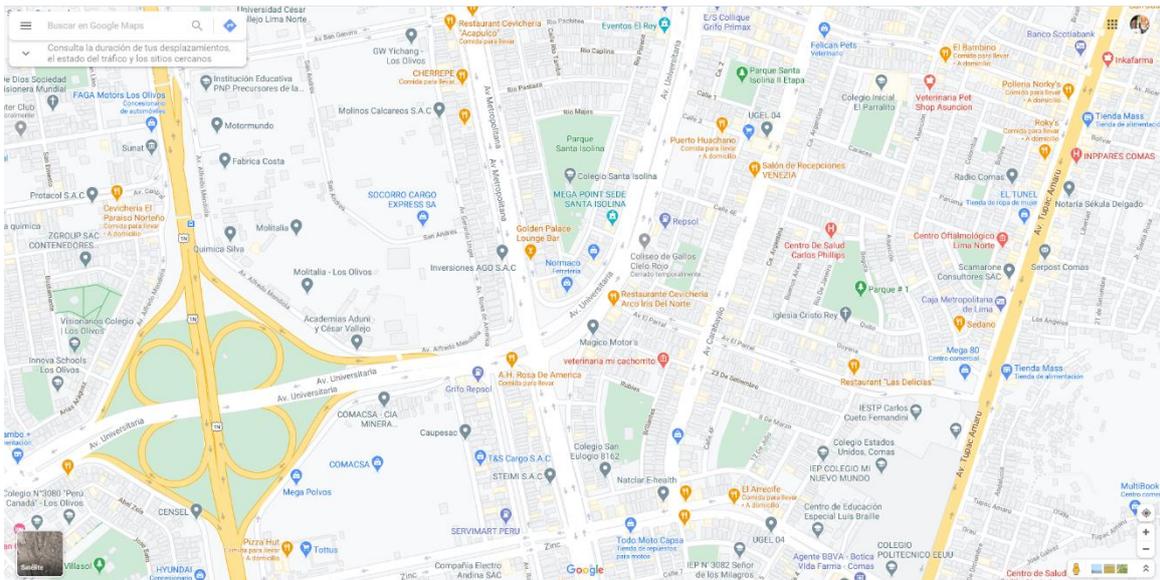


Figura 1. Ubicación geográfica de la empresa.
Fuente: CSR21, S.A.C. (2020)

Misión: Crecer en el mercado laboral ofreciendo soluciones integrales y servicio eficiente, ágil y de calidad en la industrial de maquinarias y automotriz a necesidades de sus clientes con el personal motivado y calificado.

Visión: Ser reconocido como una empresa como la mejor opción para sus clientes por su seriedad y calidad de servicio.

Valores:

- Innovación: mejora continua
- Compromiso: cada día es un nuevo reto donde se tomará con mucho optimismo.
- Integridad: honestidad ante todo para marcar la diferencia

- Vocación de servicio: el cliente encontrara con atención por parte de del técnico encargado
- Dinamismo: todos los involucrados mirar hacia el futuro y adelantarse a las necesidades de los clientes.

Productos y/o servicios de la empresa

La empresa CSR21 S.A.C está en crecimiento a pesar de su corto tiempo en el mercado laboral compitiendo día a día. Este crecimiento lo está permitiendo generar una sólida relación con empresas constructoras, mineras e industriales del país dentro del desarrollo está dedicada al servicio de equipo de mantenimiento integral, venta de repuestos y alquiler de equipos de construcción civil.

Nuestro servicio de mantenimiento integral, se brinda a diversos tipos de marcas que nos permitirá brindar servicio en diversos proyectos para el cliente. Por ello se cuenta con un área de soporte técnico para brindar una operatividad y disponibilidad de equipos alquilados, y también se ofrece de servicio de mantenimiento en general, así como también realizar las operaciones y mantenimiento de las maquinas cuando termine el periodo de alquiler para el cliente. En esta situación lleva al propósito de estudiar la implementación del proceso de mejorar la atención de requerimiento en la gestión de mantenimiento.

Estructura Organizacional

En la Figura 2 se muestra el organigrama de la empresa:

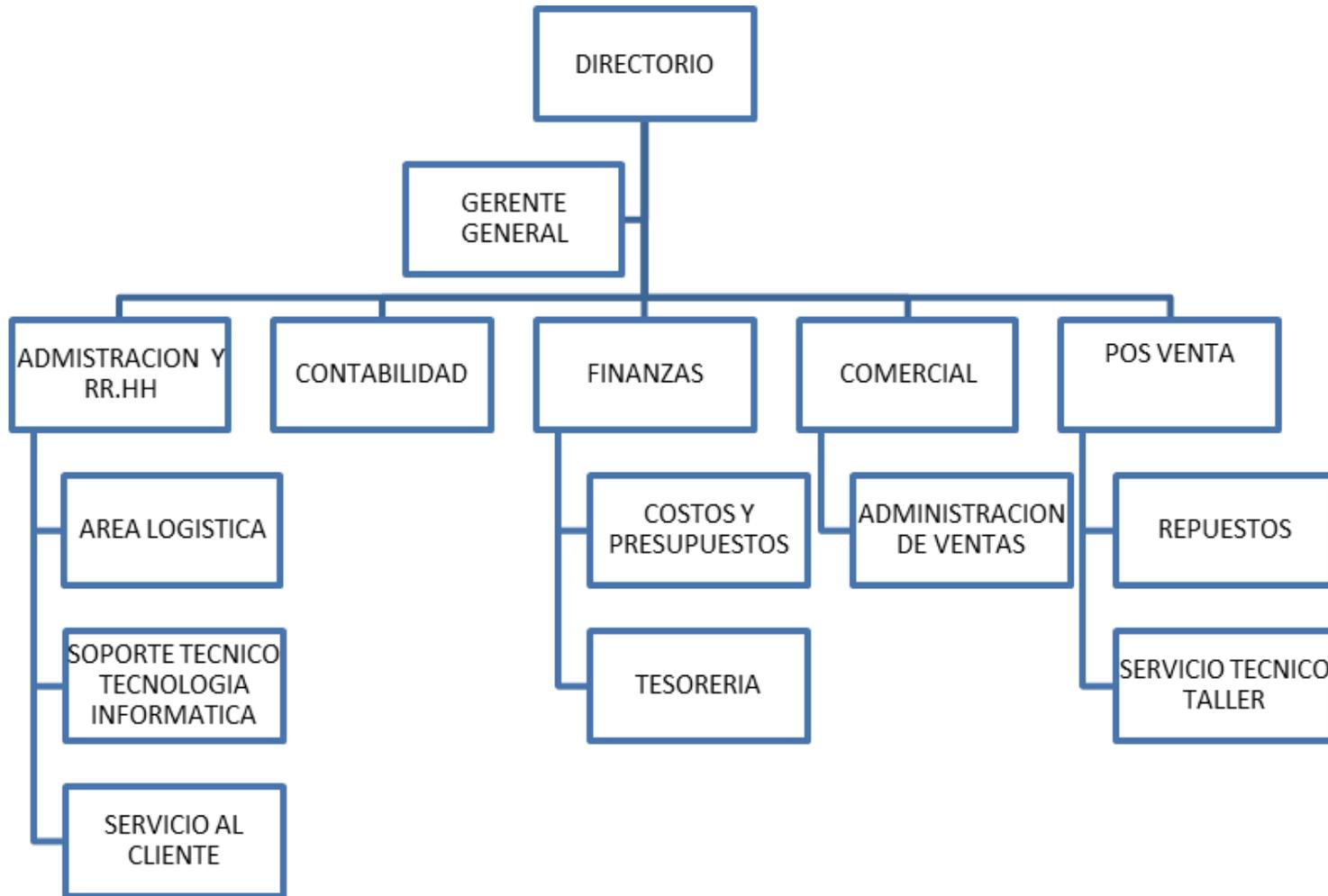


Figura 2. Organigrama de la empresa.

Fuente: CSR21, S.A.C. (2020)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación

Con el propósito de ubicar el contenido de la investigación en un contexto teórico, se procedió a la revisión de estudios previos a nivel internacional y nacional, que permitieran evaluar el avance de las investigaciones en torno la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos. De dicha actividad se obtuvieron los siguientes antecedentes:

Antecedentes internacionales

Pezeshkian y Hamidi (2019), elaboraron una investigación que tuvo como objetivo determinar la incidencia de las variables organizacionales culturales, técnicas y de confiabilidad sobre los procesos de mantenimiento y la estructura de estas variables en forma de un modelo estructural combinado. La metodología para presentar un modelo de combinación estructural, se utiliza un tipo de modelo de desarrollo, se utiliza el método de investigación mixto y también se utilizan los comentarios de los expertos. En sus resultados los autores indicaron que el modelo presentado, se ha prestado especial atención a la cultura organizacional y sus cuatro elementos que incluyen valores, patrones, rituales y procedimientos e infraestructura cultural para lograr la excelencia y alcanzar un punto óptimo en el mantenimiento. Asimismo, se nombró la estructura de gobierno entre la cultura organizacional y las variables técnicas y de confiabilidad, que podrían ayudar a las empresas en la gestión de activos físicos. Además, se expresaron ocho componentes de la gestión del cambio, que son importantes para implementar este modelo.

Dos Reis, Godina, Pimentel, Silva y Matias (2019) elaboraron un estudio para implementar una estrategia de mantenimiento para reducir pérdidas en una línea de producción automotriz. Fue realizada bajo el enfoque cuantitativo y explicativo, para lo cual

se tomó como caso de estudio una empresa fabricante de automóviles en Portugal. En sus resultados, los autores indicaron que se implementó una estrategia para la reducción de mermas causadas por fallas en las máquinas, a través de la identificación de problemas como degradaciones aceleradas, degradaciones forzadas y la subsecuente corrección de estas anomalías. El estudio concluyó que se implementaron acciones de mejora después de identificar las fallas y se incrementó la productividad en 18% en los resultados operativos, en comparación con los datos iniciales al periodo de análisis.

Gupta & Vardhan (2019) realizaron una investigación con el propósito de evaluar la relación entre la optimización de la eficacia general de los equipos (OEE), la productividad y los costos de producción para incrementar los volúmenes de venta en una empresa manufacturera en India. Fue realizada bajo los preceptos de una investigación cuantitativa de nivel explicativa y correlacional de corte longitudinal. En sus resultados, los autores indicaron que el caso estudio sobre la aplicación de la herramienta OEE demostró que tiene un potencial notable para mejorar la eficacia del equipo. Los hallazgos empíricos del estudio revelan que el incremento de la OEE y productividad, y el costo de producción reducido resultó en duplicar los ingresos por ventas y triplicar la ganancia en un período de tres años. La industria también logró beneficios notablemente tangibles e intangibles con la implementación de TPM.

Phogat y Gupta (2017) elaboraron un estudio con el objetivo de demostrar la relación entre la implementación de actividades de mantenimiento y el mejoramiento de la productividad en el desempeño de las empresas de manufactura. Fue realizada bajo la modalidad de investigación cuantitativa y correlacional, para lo cual se tomó como ejemplo un conjunto de empresas en India. En los resultados los autores indicaron que el desempeño de la gerencia y el compromiso de los trabajadores son elementos críticos para determinar

los planes y la implementación del mantenimiento Asimismo esta herramienta contribuye a incrementar en forma gradual el conocimiento de la estructura de los equipos la planificación adecuada la ejecución y en la mejora continua elementos que interviene en el mejoramiento de la productividad y el desempeño de la organización. Concluyeron que para establecer este tipo de relaciones es importante la determinación de indicadores relacionados con el logro organizacional de la productividad la calidad el costo el tiempo de entrega y la seguridad de los trabajadores.

Mwanza & Mbohwa (2015) llevaron a cabo una investigación para diseñar un modelo de mantenimiento que incidiera sobre la productividad en una empresa manufacturera del sector químico en Zambia. Fue revisada bajo el enfoque cuantitativo de tipo explicativo y aplicado en sus resultados los investigadores detectaron que las labores de mantenimiento eran originadas por paradas en la línea de producción y otras por mantenimiento preventivo Así mismo se detectó que el 78% de las actividades de mantenimiento no eran llevada a cabo por los operadores de las máquinas y la efectividad general de los equipos se estimó en 37% por debajo del estándar internacional del 50%. Debido a ello, se elaboró un plan de mejoras con el cual se contribuyó a incrementar el conocimiento, compartir la información e involucrar al operador en las operaciones, con lo cual se incrementó en la competitividad y la productividad de la empresa estudiada.

Antecedentes nacionales

Espejo (2019) elaboró una tesis que tuvo como propósito desarrollar un plan de mantenimiento para incrementar la productividad en los procesos de destilación de una empresa ubicada en Chiclayo. Fue realizada bajo el enfoque cuantitativo y de tipo aplicada, para lo cual se consideró como muestra los equipos y maquinarias de la organización. En los resultados, la autora indicó que se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo para

reducir el número de fallas en la maquinaria crítica de la organización así como la aplicación de mantenimiento autónomo de acuerdo con la metodología 5 S, lo que contribuyó además a crear una cultura de calidad entre los trabajadores. En las conclusiones, se expresó que se obtuvo un incremento de la productividad de maquinaria de 66.67% y en la mano de obra en 1.70%, además una relación de costo/beneficio de 1.74, con lo que se comprobó que la gestión de mantenimiento incidiría favorablemente sobre el incremento de la productividad.

Huamán (2019), elaboró una tesis que tuvo como propósito conocer la relación entre la gestión de mantenimiento y la calidad del servicio. En sus resultados, el autor indicó que se detectó una relación significativa y moderada entre la gestión de mantenimiento y la calidad del servicio, por lo que se demostró que al mejorar las actividades de mantenimiento esto influirá positivamente en la calidad del servicio de la institución. En sus conclusiones indicó que los elementos que más inciden en la satisfacción del cliente están: la formación del personal, condiciones de la infraestructura, actividades de limpieza y el manejo de la información

Quinto (2019) llevó a cabo una tesis que tuvo como objetivo determinar de qué manera el estudio de tiempos se relaciona con la productividad del personal operativo en el área de reparación en una empresa metalmecánica dedicada al mantenimiento de maquinaria pesada. fue realizada bajo el enfoque cuantitativo de nivel correlacional. En los resultados, el autor indicó que la baja productividad de la empresa se relaciona a factores como: (a) la falta de métodos de trabajo, (b) poca capacitación del personal, (c) condiciones laborales inadecuadas, y (d) inexistencia de planificación del trabajo de mantenimiento. En las conclusiones se indicó que la aplicación de estudios de tiempo incremento positivamente la productividad del personal operativo del área de reparaciones de manera tal que si se

incrementan los estudios de tiempo se incrementa la productividad por lo que se detectó una relación significativamente positiva y considerable entre ambas variables.

Estrada (2017) llevó a cabo una tesis que tuvo como objetivo aplicar un modelo de mantenimiento que contribuyera a incrementar la productividad en una empresa logística. Fue realizada bajo el enfoque cuantitativo y aplicado. Esos resultados la autora explicó que se implementó un plan de trabajo basado en el mantenimiento planificado de las unidades de transporte, para lo cual se tomó en cuenta el historial de mantenimiento, el estado y calidad de las unidades y las exigencias de trabajo a las que está expuesta la flota. En las conclusiones, indicó que se logró incrementar la disponibilidad de las unidades con los nuevos parámetros de mantenimiento la reducción de las averías y la maximización de la operatividad con lo cual se elevó la productividad de 0.46 a 0.72 y se recuperó la confianza de los clientes al cumplir con sus expectativas de entregas a tiempo.

Bases teóricas

Teoría y conceptos sobre mantenimiento

El mantenimiento, en general, se puede definir como los esfuerzos realizados para mantener la condición y el rendimiento de una máquina siempre como la condición y el rendimiento de la máquina cuando aún es nueva (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). Las actividades de mantenimiento se pueden dividir básicamente en dos partes: actividades de mantenimiento planificadas y actividades de mantenimiento no planificadas. El mantenimiento planificado es el mantenimiento que se organiza y realiza con visión de futuro, control y registro de acuerdo con los planes que se han determinado previamente (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017).

Muchas industrias pueden confirmar cómo los costos de mantenimiento representan una alta proporción de los costos operativos. Obviamente, las cifras varían de una empresa a otra, pero a veces pueden representar hasta el 50% de los costos de producción globales, sin siquiera tener en cuenta el tiempo de inactividad planificado o no planificado, la gestión de existencias y herramientas, las compras (Quintero y García, 2018). Estos son tantos eventos imprevistos que pueden generar a costos adicionales que una empresa suele tener dificultades para estimar pero que, no obstante, están estrechamente vinculados a la actividad de los equipos de mantenimiento (Bangalore y Patriksson, 2018).

No hace falta decir que la rentabilidad y la productividad de una organización dependen en parte de los procesos de mantenimiento que se han implementado; Por lo tanto, las plantas deben adoptar una estrategia bien pensada y optimizada para asegurarse de que todos los equipos funcionen de la manera más confiable posible (Quintero y García, 2018).

Si los técnicos y gerentes de mantenimiento tienen la posibilidad de verificar el estado de sus equipos e ingresar información en una herramienta que los está ayudando a anticipar posibles fallas, pueden volverse mucho más eficientes y realizar intervenciones bien organizadas. El objetivo final, por supuesto, es reducir los gastos inútiles de toda una planta, así como mejorar la productividad y la rentabilidad (Bangalore y Patriksson, 2018). Los tipos de mantenimiento son los siguientes:

Mantenimiento preventivo: Es un método para prevenir daños al equipo mediante la sustitución periódica de piezas en función del tiempo de uso y la realización de pequeños mantenimientos e inspecciones para averiguar el estado actual del equipo / maquinaria. Los equipos de técnicos y gerentes aplican el mantenimiento preventivo antes de que ocurra cualquier avería o falla (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). Su objetivo es reducir la probabilidad de avería o degradación de un equipo, componente o pieza de repuesto. Para

implementar dicho mantenimiento, los equipos deben tener en cuenta el historial de la pieza y realizar un seguimiento de las fallas pasadas. Por tanto, son capaces de identificar los intervalos de tiempo durante los cuales un equipo podría averiarse (Quintero y García, 2018).

Este tipo de mantenimiento se describe como planificado porque se basa en programas de mantenimiento bien establecidos y hechos concretos (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017). Es posible aplicar el mantenimiento preventivo gracias a un sistema de gestión de mantenimiento informatizado (CMMS), una herramienta imprescindible para cualquier empresa que desee organizar su departamento de mantenimiento y por tanto asegurar una productividad duradera.

Mantenimiento predictivo: El mantenimiento predictivo es un método para realizar el mantenimiento mediante la sustitución de piezas según las predicciones utilizando una herramienta (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). El punto es que si el método preventivo se basa solo en el cronograma, entonces el método predictivo se basa en los resultados de la medición. Este método también puede utilizar los cinco sentidos, por ejemplo, en la inspección de cojinetes se puede distinguir del sonido producido, o comprobando la temperatura, al tocarla podemos sentir la diferencia o anomalía del equipo (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017).

Mantenimiento predeterminado: probablemente el menos conocido de todos los tipos de mantenimiento, no se basa en el estado real del equipo sino en los programas entregados por los fabricantes (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). Ellos elaboran estos programas basándose en su conocimiento de los mecanismos de falla, así como en las estadísticas MTTF (tiempo medio hasta la falla) que observaron en un equipo y sus diversos componentes en el pasado.

Partiendo del supuesto de que este tipo de mantenimiento solo se aplica de acuerdo con programas elaborados por los fabricantes, los riesgos de falla son mayores o menores ya sea que el equipo o la pieza sea nueva o vieja (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017). Los equipos de mantenimiento no tienen más remedio que confiar en estos programas, por lo que es posible que no puedan anticipar fallas (existe el riesgo de que se produzcan tiempos de inactividad y que tengan una consecuencia directa en la productividad) y también pueden proceder al reemplazo de piezas completamente inútiles (lo que conduce a costos adicionales que podrían haberse evitado).

Este tipo de mantenimiento, al igual que otros, es imperfecto. No garantiza que un equipo no se descomponga, ya que todos los programas se basan en estadísticas de fallas, pero no tienen en cuenta el estado real del equipo. Cada equipo puede tener varios programas de mantenimiento multiplicados por el número de equipos existentes (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017).

Mantenimiento correctivo: Es un método destinado a mejorar la fiabilidad de los equipos / máquinas mediante la improvisación. Además del equipo, también está diseñado para piezas que tienen un ciclo de vida corto (reducen la frecuencia de daños) y aceleran el tiempo de reparación (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). En otras palabras, este método es para extender el MTBF (tiempo medio entre fallas) y acelerar el tiempo medio de reparación (MTTR) debido a su confiabilidad (actividad para evitar la recurrencia del daño) y mantenimiento (actividad para acelerar el tiempo de reparación).

El mantenimiento correctivo se implementa inmediatamente después de la detección de un defecto en un equipo o en una línea de producción: su objetivo es hacer que el equipo vuelva a funcionar con normalidad, para que pueda realizar su función asignada (Fumagalli,

Macchi y Giacomini, 2017). El mantenimiento correctivo puede planificarse o no, dependiendo de si se ha creado o no un plan de mantenimiento.

Mantenimiento de averías: Es un método donde no se realiza inspección y reposición de piezas, por lo que con este método dejamos el equipo dañado y luego se repara o reemplaza (Quintero y García, 2018). Por lo general, este método se aplica a equipos o máquinas teniendo en cuenta: el equipo es solo opcional (adicional) para que si se daña no interfiera con la producción; el costo de reparar / reemplazar piezas baratas; daño insignificante o reparación fácil y rápida (Bangalore y Patriksson, 2018).

Mantenimiento basado en condiciones: Entre todos los tipos de mantenimiento citados anteriormente, este es el más complicado de implementar. Tiene como objetivo prevenir fallas y requiere controles periódicos del estado, la eficiencia y otros indicadores del sistema (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). Todos estos datos se pueden recopilar de forma automática en el campo o de forma remota gracias a una conexión de red directa al equipo, para asegurarse de que esté constantemente controlado (Bangalore y Patriksson, 2018).

Los equipos de mantenimiento pueden decidir si quieren operar un control de intervalos constante o regular: leen contadores, verifican el desgaste de las piezas, controlan la temperatura de los motores. Estas son todas las acciones que los equipos pueden realizar para asegurarse de que ninguna pieza cause una avería que dañe el toda la línea de producción (Quintero y García, 2018).

Incluso si el mantenimiento basado en condiciones puede parecer difícil de implementar, es particularmente económico. Dado que los técnicos de mantenimiento proceden a controles muy regulares de sus piezas y equipos, solo se encargarán de los que necesiten ser reparados o reemplazados (Bangalore y Patriksson, 2018). Como consecuencia,

el departamento de compras no tendrá que gestionar decenas de pedidos de piezas que se almacenarán y no serán realmente útiles para asegurar el correcto funcionamiento de la línea de producción. En pocas palabras, este tipo de mantenimiento permite a las empresas ahorrar dinero (Fumagalli, Macchi y Giacomini, 2017).

Mantenimiento productivo total (TPM): Es una actividad de mantenimiento que involucra a los operadores de producción en el mantenimiento de equipo o maquinaria además de las actividades realizadas por los operadores de mantenimiento (Fuentes, González, Cantú y Praga, 2017). Algunos ejemplos son la limpieza, lubricación, ajuste de tuercas y pernos, comprobación diaria (comprobación del estado del equipo / máquina), reparaciones sencillas (sustitución de mangueras con fugas, puntas de soldadura) entre otras. De acuerdo con Fumagalli, Macchi y Giacomini (2017), los objetivos del TPM son:

- Desarrollar operadores que sean capaces de detectar señales de daños lo antes posible. Porque es el operador de producción el que realmente conoce el estado del equipo hasta la parte más detallada.
- Crear un lugar de trabajo limpio y ordenado para que cualquier irregularidad se pueda detectar lo antes posible.

Gestión de mantenimiento para maquinarias y equipos

Toda organización industrial depende de activos bien mantenidos para mantener su negocio en marcha. La gestión del mantenimiento es un aspecto importante, aunque poco discutido, de la gestión de una empresa. Es posible que las personas que no estén familiarizadas con el trabajo en entornos industriales no comprendan qué se entiende por gestión de mantenimiento (Quintero y García, 2018).

La gestión de mantenimiento es un proceso ordenado para controlar los recursos y las actividades de mantenimiento necesarios para preservar los activos o repararlos en un estado de funcionamiento aceptable. Si bien puede interpretar esta definición de administración de mantenimiento como simplemente arreglar cosas, eso sería una simplificación excesiva (Castillo, Medina, Gutiérrez y Fernández, 2021). La gestión del mantenimiento implica mucho más de lo que la mayoría de la gente cree. Dado que gran parte del dinero de una organización está invertido en equipos e instalaciones, se toman decisiones importantes con respecto al tiempo, las personas y el dinero (Alarcón, Martínez y Gómez, 2021).

El mantenimiento impacta directamente en el éxito a largo plazo de una organización. Los activos con un mantenimiento deficiente experimentan tiempos de inactividad inesperados y frecuentes, y provocan un efecto dominó. La inestabilidad, la calidad inconsistente del producto, la producción detenida y los altos costos operativos ponen en peligro la rentabilidad y la longevidad de una organización. Todas las formas de gestión de mantenimiento comparten objetivos similares sin importar la industria, planta o producto o servicio ofrecido. de acuerdo con Castillo, Medina, Gutiérrez y Fernández, (2021), los siguientes son algunos objetivos de la gestión del mantenimiento:

- Minimizar las fallas y el tiempo de inactividad de los activos
- Prolongación de la vida útil de los activos
- Planificación del trabajo de mantenimiento
- Control de costos y presupuestación
- Mejorando la calidad del producto
- Desarrollar políticas, procedimientos y estándares mejorados
- Cumpliendo con la normativa.
- Garantizar la seguridad del personal

Cuando se realiza correctamente, la gestión de mantenimiento mantiene los activos en óptimas condiciones de funcionamiento. Una menor interrupción en la producción o el servicio conduce a operaciones eficientes, aumenta la calidad y mejora la productividad. Además, la gestión de mantenimiento reduce los costos operativos, protege a la organización de la responsabilidad y mejora la seguridad ambiental y personal (Alarcón, Martínez y Gómez, 2021).

Por otra parte, la planificación y programación del mantenimiento son las piedras angulares de una gestión de mantenimiento eficaz. Implica priorizar el trabajo de mantenimiento y organizarlo para que se complete de manera eficiente (Quintero y García, 2018).

Las actividades de planificación consideran todo lo que se necesitará para realizar el trabajo de mantenimiento, incluyendo: qué tareas deben realizarse, cómo se realizarán las tareas, qué piezas se necesitarán y quién hará el trabajo (Quintero y García, 2018). Quienes participan en la gestión del mantenimiento deben coordinar los horarios de los empleados y la disponibilidad de piezas con las prioridades de mantenimiento en constante cambio y la disponibilidad de los activos (Alarcón, Martínez y Gómez, 2021).

La programación determina cuándo se realizan los trabajos. Algunos trabajos de mantenimiento son urgentes y se realizan de inmediato, mientras que otros trabajos están programados para completarse en un futuro próximo (Castillo, Medina, Gutiérrez y Fernández, 2021). El trabajo de mantenimiento que se realiza con regularidad, como las inspecciones y el control del estado, se programa con antelación a intervalos semanales, mensuales o incluso anuales. Por lo tanto, tiene sentido que el mantenimiento programado se planifique con anticipación.

Los gerentes de mantenimiento, por supuesto, lideran el camino cuando se trata de realizar actividades de mantenimiento. Son los principales responsables de supervisar la instalación, la resolución de problemas, la reparación y el mantenimiento de los activos (Castillo, Medina, Gutiérrez y Fernández, 2021). Esto incluye estar a cargo de los procesos y recursos relacionados con la realización del mantenimiento, como la gestión de órdenes de trabajo, la coordinación de piezas y mano de obra, y la planificación y programación del mantenimiento. A veces, los gerentes de mantenimiento también realizan trabajos de mantenimiento junto con su equipo (Alarcón, Martínez y Gómez, 2021).

Además de realizar el mantenimiento, los técnicos también son responsables de documentar su trabajo. Esto incluye llevar un registro de lo que se hizo, qué partes se usaron y cuánto tiempo tomó completar el trabajo. Otros utilizan estos datos para mejorar la planificación del mantenimiento, la programación y otras tomas de decisiones (Castillo, Medina, Gutiérrez y Fernández, 2021).

Teoría del RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad)

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) es una estrategia de mantenimiento a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación (Tang, Liu, Jing, Yang y Zhou, 2017). El resultado final de un programa RCM es la implementación de una estrategia de mantenimiento específica en cada uno de los activos de la instalación. Las estrategias de mantenimiento se optimizan para que la productividad de la planta se mantenga mediante técnicas de mantenimiento rentables (Salah, Osman y Hosny, 2018).

Una implementación de mantenimiento centrada en la confiabilidad efectiva examina la instalación como una serie de sistemas funcionales, cada uno de los cuales tiene entradas

y salidas que contribuyen al éxito de la instalación. Es la confiabilidad, más que la funcionalidad, de estos sistemas lo que se considera (Shayesteh y Hilber, 2018).

El RCM identifica las funciones de la empresa que son más críticas y luego busca optimizar sus estrategias de mantenimiento para minimizar las fallas del sistema y, en última instancia, aumentar la confiabilidad y disponibilidad del equipo (Shayesteh y Hilber, 2018). Los activos más críticos son aquellos que pueden fallar con frecuencia o que tienen grandes consecuencias de fallas. Con esta estrategia de mantenimiento se identifican posibles modos de falla y sus consecuencias; todo ello mientras se considera la función del equipo (Salah, Osman y Hosny, 2018). Entonces se pueden determinar técnicas de mantenimiento rentables que minimicen la posibilidad de fallas. Por pasos para implementar el RCM son los siguientes:

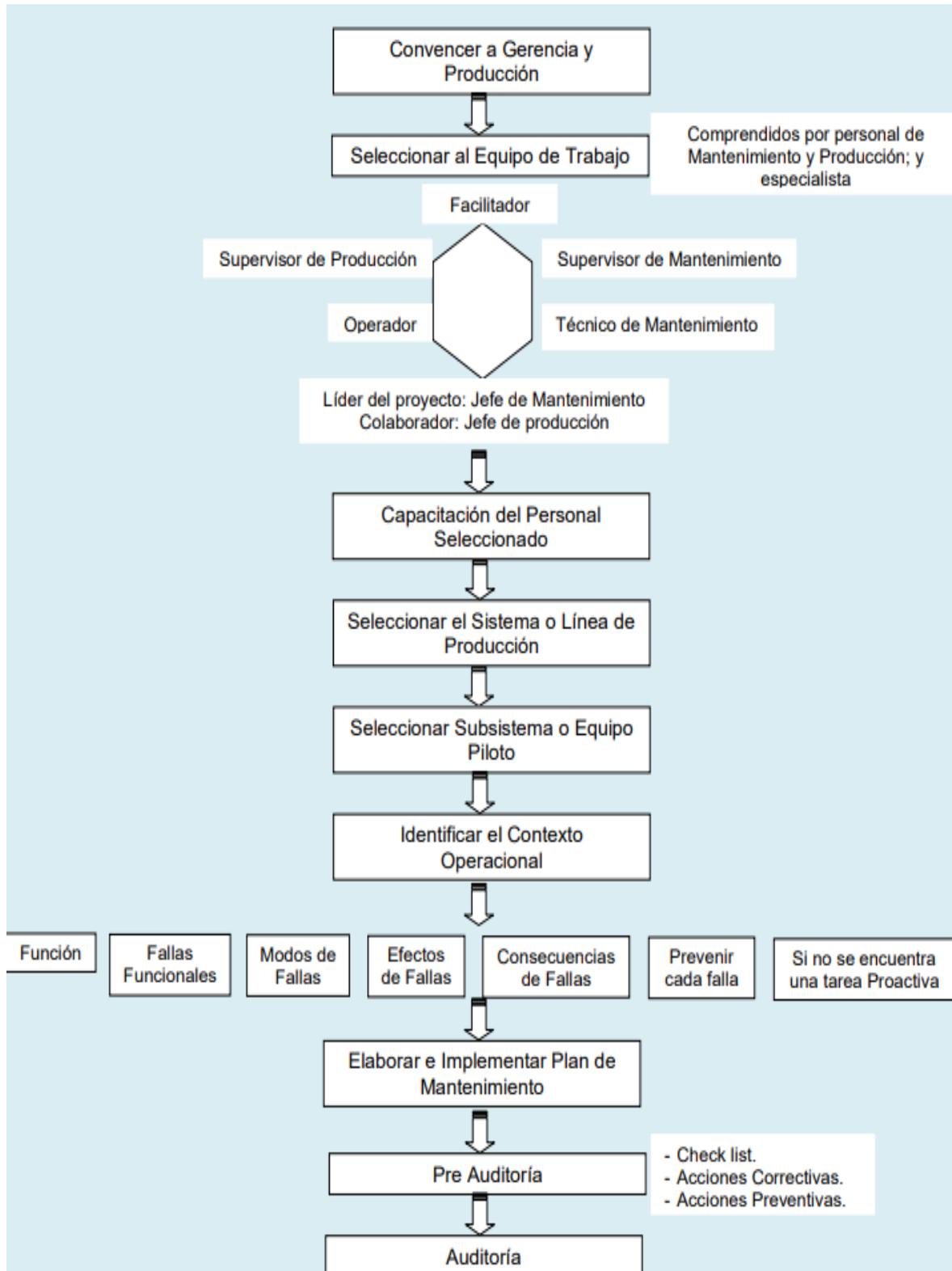


Figura 3. Esquema de implementación del RCM.
 Fuente: Haidar (2016)

Paso 1 – Selección de equipo para análisis RCM: El primer paso es seleccionar el equipo para el análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad. El equipo seleccionado debe ser crítico en términos de su efecto en las operaciones, sus costos previos de reparación y costos previos de mantenimiento preventivo (Tang, Liu, Jing, Yang y Zhou, 2017).

Paso 2 – Definir los límites y la función de los sistemas que contienen el equipo seleccionado: El equipo pertenece a un sistema que realiza una función crucial. El sistema puede ser grande o pequeño, pero se debe conocer la función del sistema y sus entradas y salidas (Tang, Liu, Jing, Yang y Zhou, 2017). Por ejemplo, la función de un sistema de cinta transportadora es transportar mercancías. Sus insumos son los bienes y la energía mecánica que alimentan el cinturón, mientras que sus productos son los bienes en el otro extremo. En este caso, el motor eléctrico que suministra la energía mecánica se consideraría parte de un sistema diferente.

Paso 3 – Definir las formas en las que el sistema puede fallar (modos de falla): En el paso 3, el objetivo es enumerar todas las formas en que la función del sistema puede fallar (Salah, Osman y Hosny, 2018). Por ejemplo, la cinta transportadora puede fallar al no poder transportar las mercancías de un extremo al otro, o quizás no transporta las mercancías con la suficiente rapidez.

Paso 4 – Identificar las causas fundamentales de los modos de falla: Con la ayuda de operadores, técnicos experimentados, expertos en RCM y expertos en equipos, se pueden identificar las causas fundamentales de cada uno de los modos de falla (Shayesteh y Hilber, 2018). Las causas fundamentales de la falla del transportador podrían incluir la falta de lubricación en los rodillos, la falla de un rodamiento o una correa floja.

Paso 5 – Evaluar los efectos del fracaso: En este paso, se consideran los efectos de cada modo de falla. Las fallas del equipo pueden afectar la seguridad, las operaciones y otros equipos. También se puede considerar la criticidad de cada uno de estos modos de falla (Shayesteh y Hilber, 2018). Hay varias técnicas recomendadas que se utilizan para dar a este paso un enfoque sistemático. Éstos incluyen: Análisis de modos y efectos de falla (FMEA); análisis de fallos, modos, efectos y criticidad; estudios de peligrosidad y operatividad (HAZOPS); análisis de árbol de fallas (FTA) e inspección basada en riesgos (RBI).

Paso 6 – Seleccionar una táctica de mantenimiento para cada modo de falla: En este paso, se determina la táctica de mantenimiento más adecuada para cada modo de falla. La táctica de mantenimiento que se seleccione debe ser técnica y económicamente factible (Tang, Liu, Jing, Yang y Zhou, 2017). El mantenimiento basado en la condición se selecciona cuando es técnica y económicamente factible detectar el inicio del modo de falla.

El mantenimiento preventivo basado en el tiempo o el uso se selecciona cuando es técnica y económicamente factible reducir el riesgo de fallas utilizando este método. Para los modos de falla que no tienen un mantenimiento basado en condiciones satisfactorias o opciones de mantenimiento preventivo, se debe considerar un rediseño del sistema para eliminar o modificar el modo de falla (Shayesteh y Hilber, 2018). Los modos de falla que no se identificaron como críticos en el Paso 6 pueden, en esta etapa, identificarse como buenos candidatos para un programa de mantenimiento de ejecución a falla.

Paso 7 – Implementar y luego revisar periódicamente la táctica de mantenimiento seleccionada: Es importante destacar que la metodología RCM solo será útil si se ponen en práctica sus recomendaciones de mantenimiento. Una vez hecho esto, es importante que las recomendaciones se revisen y renueven constantemente a medida que se encuentre información adicional (Tang, Liu, Jing, Yang y Zhou, 2017). Dado que el producto final de

un análisis RCM bien ejecutado es que se seleccionará una estrategia de mantenimiento adecuada para cada equipo, el impacto es una mejora general de la confiabilidad. RCM tiene como objetivo reducir costos, mejorar la seguridad y eliminar las tareas de mantenimiento que no son efectivas o apropiadas para una determinada pieza de maquinaria. La implementación de procesos RCM le permite evitar una mentalidad de talla única que podría desperdiciar tiempo y recursos valiosos (Salah, Osman y Hosny, 2018).

Eficiencia general de equipos (OEE)

La competitividad de la industria está impulsando a las empresas a impulsar cada vez más la mejora continua de la fiabilidad, el rendimiento, la calidad de la producción y la satisfacción del cliente (Sari y Darestani, 2019). Estos objetivos se pueden lograr mediante la definición del indicador conocido como eficacia general del equipo (OEE), que ayuda específicamente a identificar y llenar las brechas de productividad en los procesos continuos y por lotes (Corrales, Lamban, Hernández y Royo, 2020).

La eficacia general del equipo (OEE) describe el nivel al que su proceso es productivo cuando está en ejecución. No le dice cuánto pueden entregar sus máquinas y equipos cuando trabajan a la capacidad máxima, sino qué porcentaje de la operación en curso es, de hecho, efectivo. de acuerdo con Sari y Darestani (2019), monitorear y calcular OEE puede tener algunas ventajas reales:

- Mejora de la economía y los principales impulsores de la producción: rendimiento, producción, energía, calidad.
- Reducción del tiempo de inactividad y de los ciclos que conduce a una productividad máxima.
- Capacidad para identificar correlaciones entre productos, procesos, maquinaria y pérdidas de rendimiento particulares.

- Capacitación de mejora continua para operadores, con enfoque en los conceptos de disponibilidad, desempeño y calidad.

En pocas palabras, OEE es un análisis fácil de implementar y proporciona beneficios reales en términos de mejora del proceso de producción. El hecho es que cualquier variación o desviación de los procedimientos operativos estándar (POE) tendrá un efecto tanto en la calidad del producto como en el rendimiento de la producción (Corrales, Lamban, Hernández y Royo, 2020). La efectividad general del equipo es un índice que resume la disponibilidad del equipo, el rendimiento del proceso y la calidad del producto en un valor porcentual al identificar las causas del tiempo de inactividad, las desviaciones negativas del rendimiento y el nivel de calidad del producto, rechazos o reprocesos (Siregar, Muchtar y Rahmat, 2018). El OEE calculado para cada unidad de proceso se puede dividir en tres componentes:

- a) Disponibilidad: porcentaje de tiempo que la unidad está disponible para procesamiento, dividido en tiempo de inactividad planificado y averías. Es el tiempo de producción real de la maquinaria (Sari y Darestani, 2019).
- b) Rendimiento: velocidad de producción dividida por la velocidad esperada. Esto se divide a su vez en paradas menores y pérdida de velocidad. es el rendimiento previsto como la relación entre la producción real y la capacidad máxima de producción de la máquina (Sari y Darestani, 2019).
- c) Calidad: porcentaje de productos según la especificación, en comparación con los productos enviados para su procesamiento. Esto se divide a su vez en Reciclar y Desechar. En otras palabras, es la cantidad producida en comparación con la cantidad máxima que la máquina es capaz de producir, según especificaciones (Sari y Darestani, 2019).

Si el valor de OEE por sí solo puede ayudar a encontrar malos actores, es decir, procesos por lotes con un índice de OEE más bajo, el análisis de los componentes de OEE dará información importante sobre cómo se pueden mejorar estos procesos (Corrales, Lamban, Hernández y Royo, 2020). Por ejemplo, la baja disponibilidad puede corresponder a ineficiencias de planificación debido a largos transitorios o ciclos que no terminan a tiempo, lo que tiene un impacto en la planificación posterior.

La métrica OEE se utiliza para identificar las causas de los residuos en un proceso, lo que permite corregirlos, aumentar la productividad y estabilizar los niveles de eficiencia (Corrales, Lamban, Hernández y Royo, 2020). También proporciona una línea de base con la que puede comparar el estado del proceso periódicamente, para medir si el valor que entrega a sus clientes está aumentando o no (Siregar, Muchtar y Rahmat, 2018). Enfocarse en el valor tal como lo ve el cliente es de suma importancia en la fabricación ajustada, dentro de la cual se suele utilizar OEE.

Además, un análisis OEE puede ser su primer intento fácil de adoptar Lean. Dar el salto a la manufactura esbelta puede ser abrumador y costoso, y aplicar la Teoría de las Restricciones es una gran empresa. Mientras tanto, la eficacia general del equipo se puede medir en un período de tiempo relativamente corto y con un costo reducido, al mismo tiempo que proporciona información valiosa sobre lo que debe mejorarse en el proceso (Sari y Darestani, 2019).

La fortaleza en el análisis de las líneas de producción OEE está en identificar las causas de los problemas como parte del proceso. Una vez realizadas sus mediciones, ya debería saber de dónde provienen las mayores pérdidas. Una razón común será la falta de estandarización, ya sea en la configuración de las máquinas, en la calidad del material, en el trabajo de los operadores o en el control de calidad (Corrales, Lamban, Hernández y

Royo, 2020). Las diversas formas de trabajar y evaluar el producto siempre darán lugar a inconsistencias de calidad, que inevitablemente conducen al desperdicio.

Ciclo de mejora continua de Deming o PDCA

El ciclo de Deming (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) es una metodología para la mejora continua. Esta metodología, originalmente llamada ciclo Shewhart, fue desarrollada por Walter A. Shewhart. Los japoneses lo rebautizaron como ciclo Deming en 1950. W. Edwards Deming sugirió que se debería seguir este procedimiento para mejorar cualquier etapa de la producción y como procedimiento para encontrar una causa especial de variación indicada por señales estadísticas (Liu et al., 2017). Explicado brevemente, el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar es un modelo para llevar a cabo el cambio. Es una parte esencial de la filosofía de fabricación ajustada y un requisito previo clave para la mejora continua de las personas y los procesos (Da Silva et al., 2021). Ver Figura 4

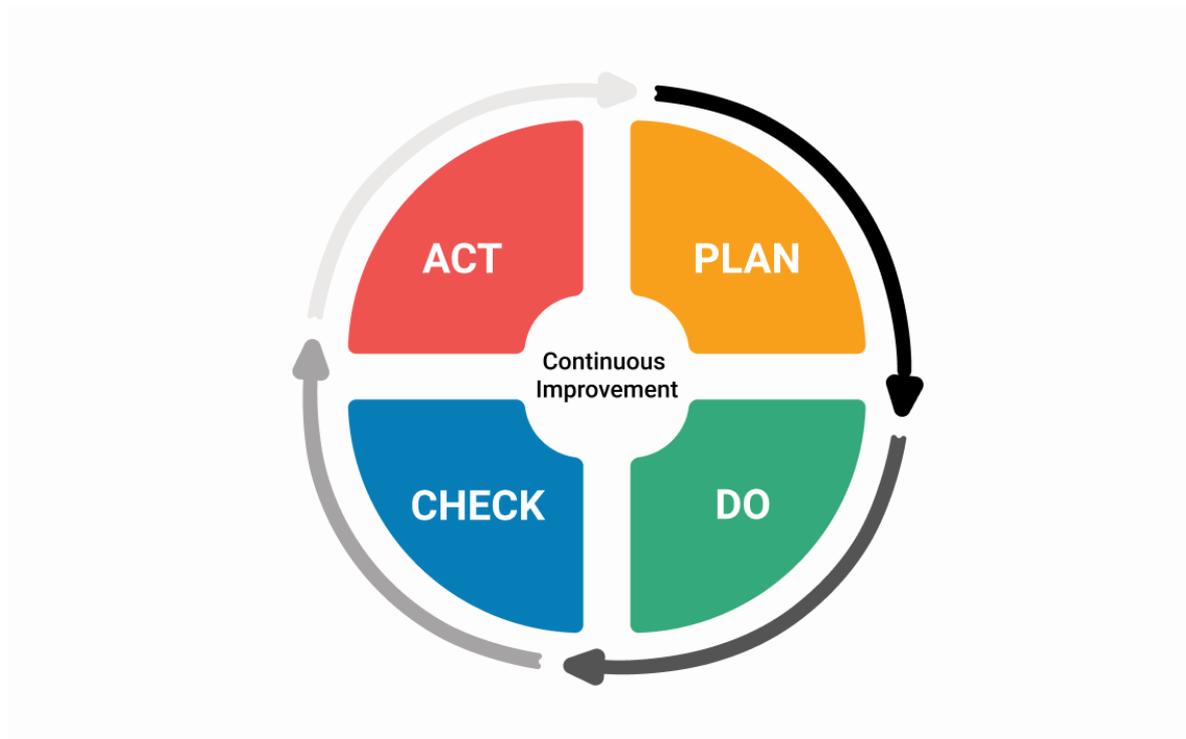


Figura 4. Esquema de implementación del Ciclo de Deming
Fuente: <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/what-is-pdca-cycle>

Planear: En esta etapa, literalmente se planificará lo que debe hacerse. Según el tamaño del proyecto, la planificación puede representar una parte importante de los esfuerzos de su equipo (Liu et al., 2017). Por lo general, consistirá en pasos más pequeños para que pueda construir un plan adecuado con menos posibilidades de falla (Chen y Li, 2019).

Hacer: Una vez que haya acordado el plan, es hora de actuar. En esta etapa, se aplicará todo lo que se ha considerado durante la etapa anterior. En esta fase pueden producirse problemas imprevistos (Liu et al., 2017). Es por eso que en una situación perfecta, primero se puede intentar incorporar el plan a pequeña escala y en un entorno controlado. La estandarización es algo que definitivamente ayudará al equipo a aplicar el plan sin problemas, por lo que hay que de que todos conozcan sus funciones y responsabilidades (Chen y Li, 2019).

Verificar: Esta es probablemente la etapa más importante del ciclo PDCA. Si se desea aclarar el plan, evitar errores recurrentes y aplicar la mejora continua con éxito, debe prestar suficiente atención a la fase de verificación (Liu et al., 2017). Aquí, se debe auditar la ejecución de su plan y ver si el plan inicial realmente funcionó. Además, el equipo podrá identificar las partes problemáticas del proceso actual y eliminarlas en el futuro (Chen y Li, 2019). Si algo salió mal durante el proceso, debe analizarse y encontrar la causa raíz de los problemas.

Actuar: Si todo parece perfecto y el equipo logró alcanzar los objetivos originales, se puede proceder y aplicar su plan inicial. Puede ser apropiado adoptar el plan completo si se cumplen los objetivos (Liu et al., 2017). Respectivamente, el modelo PDCA se convertirá en la nueva línea de base estándar. Sin embargo, cada vez que se repita un plan estandarizado, hay que recordar al equipo que se repitan todos los pasos nuevamente y tratar de mejorar con cuidado (Da Silva et al., 2021).

De manera resumida, la etapa del plan implica estudiar la situación actual, recopilar datos y planificar la mejora. La etapa hacer consiste en implementar el plan a modo de prueba (Chen y Li, 2019). La etapa de verificación está diseñada para determinar si el plan de prueba está funcionando y para ver si se han descubierto más problemas u oportunidades. La etapa de Actuar consiste en implementar el plan final. Esto lleva de regreso a la etapa de Plan para un mayor diagnóstico y mejora (Da Silva et al., 2021).

Glosario de Términos

Análisis de causa raíz (RCA): consiste en una serie sistemática de tareas destinadas a identificar la razón fundamental por la que ocurrió una falla.

Desperdicio: Todo lo que sea distinto a los recursos mínimos absolutos de materiales, máquinas, y mano de obra necesarios para agregar valor al producto.

Eficiencia: Es el nivel del logro en la realización de los objetivos por parte de una organización, con el menor costo de recursos financieros, humanos y tiempo.

Estrategia: Programas generales de acción que implican programación de recursos y logro de metas para orientar a organización hacia una dirección.

Indicadores de gestión: Son las dimensiones cuantitativas o cualitativas que a través de una unidad de medida permite medir, comparar y evaluar su comportamiento en forma estática o dinámica. Permite medir el nivel de la eficiencia, efectividad y productividad de unidad de análisis, en base a un plan operativo o estratégico.

Indicadores clave de rendimiento (KPI): consisten en una colección de informes y métricas que se utilizan para proporcionar una descripción general de alto nivel del rendimiento de un negocio, proceso o activo

Mantenimiento basado en la condición: consiste en tareas realizadas como resultado de datos cuantitativos relacionados con la condición de un activo (vibración, presión) En tiempo real, comúnmente obtenidos mediante el uso de sensores

Mantenimiento correctivo (CM): consiste en acciones tomadas para corregir un problema con un activo y devolverlo a su condición de operación normal (opuesto al mantenimiento preventivo).

Mantenimiento predictivo (PDM): es un tipo de estrategia de mantenimiento que utiliza la condición de los activos para predecir cuándo se necesita mantenimiento.

Mantenimiento preventivo (PM): consiste en tareas periódicas destinadas a mantener los activos en funcionamiento y evitar tiempos de inactividad no programados (una forma de mantenimiento proactivo).

Mantenimiento proactivo: es el proceso de tomar medidas proactivas antes de que un equipo funcione mal con la esperanza de eliminar una avería futura (lo contrario del mantenimiento reactivo).

Mantenimiento reactivo: es el proceso de responder a fallas no planificadas del equipo con acciones tomadas para reparar el defecto que causó la avería.

Manual de normas y procedimientos: El manual de procedimientos contiene una descripción precisa de cómo deben desarrollarse las actividades de cada empresa. Ha de ser un documento interno, del que se debe registrar y controlar las copias que de los mismos se realizan.

Políticas: es el conjunto de ideas que se enmarcan para la práctica del desarrollo de la empresa, las cuales deben ser ajustadas y definidas a la caracterización de la empresa.

Proceso: se puede definir como una actividad que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados. Un proceso

es un conjunto de tareas lógicamente relacionadas que existen para conseguir un resultado bien definido dentro de un negocio; por lo tanto, toman una entrada y le agregan valor para producir una salida.

Tiempo de actividad: es la cantidad de tiempo que un equipo está funcionando continuamente de la manera prevista (opuesto al tiempo de inactividad).

Tiempo medio de reparación (MTTR): se utiliza para comprender cuánto tiempo (duración), en promedio, se necesita para reparar un activo. En términos más simples, MTTR es igual a la suma de los tiempos de reparación de un activo dividido por la cantidad de veces que ha sido reparado

Tiempo medio entre fallas (MTBF): se usa para comprender cuánto tiempo funciona un activo, en promedio, antes de que tenga una falla inesperada. Se calcula tomando la suma del tiempo entre todas las averías y dividiéndola por el número de averías inesperadas. MTBF se encuentra entre los primeros intentos de anticipar fallas futuras

Tiempo de inactividad: es la cantidad de tiempo que un equipo no está en funcionamiento (planificado o no planificado).

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Descripción del proyecto o programa laboral

En el caso particular que se analizó, producto de la experiencia profesional en CSR 21 SAC., organización creada para dar respuestas a las necesidades del mercado en el servicio de ventas de repuestos, alquiler de equipos y mantenimiento de maquinarias, cuenta un proceso para lo cual es necesario contar con una gestión de mantenimiento eficiente que incida sobre la productividad y el rendimiento de la organización. De esta forma, se observó el interés de los socios en realizar una evaluación sobre el mantenimiento de máquinas equipos para hacer una entidad más competitiva y eficiente, por lo que el propósito del estudio fue la implementación de un plan de mejoras en el mantenimiento que permitiera incrementar la satisfacción de los clientes.

En este contexto, CSR 21 SAC., en la persecución de la calidad de sus operaciones, está interesada de manera permanente en desarrollar acciones de seguimiento y control en relación con sus activos, lo que permita la optimización de sus rutinas de trabajo desde el diseño de las estructuras hasta la entrega y satisfacción del cliente. Por ello, mediante la implementación de herramientas de mantenimiento, se busca reducir cada vez más las diferencias existentes entre los niveles actuales de fallas o paradas en los equipos y la meta de convertirse en una empresa competitiva y confiable para sus clientes.

A pesar de los esfuerzos de la organización en controlar sus actividades de mantenimiento durante la experiencia profesional se observaron diversas inconformidades en dicha gestión las cuales inciden negativamente sobre la eficiencia y generan insatisfacción de los clientes y baja productividad en los equipos alquilados por la empresa, lo que ha generado inquietud en los socios y los trabajadores en cuanto a la necesidad de implementar

mejoras. mediante una observación directa en las actividades de mantenimiento llevada a cabo durante la experiencia profesional se detectaron las siguientes debilidades:

- a. En lo que corresponde a los procesos de mantenimiento no se realizan de manera estandarizada rutinas de inspección en los equipos, lo que no contribuye a garantizar su disponibilidad y se presenta fallas cuando el cliente que las alquilado las está utilizando lo que afecta la imagen de calidad de la organización e implica procesos en mantenimiento que afectan la planificación de la empresa el uso de los recursos y la organización del personal.
- b. En lo que respecta a los recursos humanos no se llevan a cabo actividades de formación que implique el desarrollo de sus competencias en cuanto a las labores de mantenimiento en especial el mantenimiento autónomo y el mantenimiento preventivo; Asimismo, no se aplican formatos de control para mantener el nivel de desempeño del trabajador acorde a los requerimientos de la empresa, lo que trae como consecuencia altos niveles de variabilidad y un bajo nivel de productividad laboral.
- c. La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo y de rutinas de inspección previas a la entrega a los clientes y posterior a su devolución trae como consecuencia la insatisfacción en el servicio prestado lo cual afecta la relación de la empresa con sus clientes y los ingresos económicos que percibe por concepto de alquiler de maquinarias y equipos.

Al tomar en cuenta estas causas y sus efectos, surgió la iniciativa en la organización de reconocer y hacer una evaluación de los factores que inciden directamente sobre la confiabilidad y la mantenibilidad de las maquinarias y equipos para incrementar su factor de utilización contribuir a reducir costos adicionales desarrollar rutinas de mantenimiento de fácil aplicación que conlleven a un incremento en la productividad de sus operaciones. A

partir de estas premisas se propuso en la empresa aplicar un plan de mantenimiento basado en la metodología denominada Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que incidiera sobre productividad de los equipos. Como respuesta al interés en mejorar sus procesos la gestión de mantenimiento se presenta como una estrategia derivada de la Ingeniería Industrial que contribuya a agregar valor, fomentar la participación del personal que realizan las labores de mantenimiento orientar los esfuerzos hacia la eficiencia y que los resultados se conviertan en el aumento de la productividad y la satisfacción del cliente que permita la sostenibilidad del proyecto empresarial en el tiempo.

De lo descrito anteriormente se formula la interrogante general: ¿Cuál sería la incidencia de la mejora en la gestión de mantenimiento mediante la metodología RCM en la productividad de la empresa CSR21 S.A.C.? Derivado de esta pregunta surgen los problemas específicos que se presentan a continuación:

- ¿Cuál es la situación actual en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC?
- ¿Cuáles acciones hay que incluir en un plan operativo para mejorar la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC desde la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad?
- ¿Cuáles son los costos y beneficios de la aplicación de un plan de mejoras basadas en la metodología RCM en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC?

Las actividades desarrolladas en la experiencia profesional se justificaron desde la perspectiva teórica, ya que se propuso una revisión de los diversos enfoques conceptuales y metódicos de la gestión de mantenimiento a partir del modelo RCM en la actualidad para implementar de forma adecuada acciones dirigidas a la confiabilidad que aseguren la

satisfacción de los clientes, lo que incidirá favorablemente en la vida útil y disponibilidad de los equipos, para beneficio de la empresa.

Descripción de la experiencia profesional en la empresa

La experiencia profesional fue desarrollada en el cargo de Asistente Planner Junior en el área de Servicio de Equipos a partir del mes de febrero del año 2018. Durante la experiencia en la organización, se tuvo la oportunidad de llevar a cabo un conjunto de mejoras e innovaciones a través de la adaptación de la metodología RCM en los procesos de mantenimiento de los equipos de la empresa, con la intención de aplicar las herramientas de la ingeniería industrial adquiridas en experiencias laborales previas y a lo largo de la formación profesional universitaria, y contribuir con el incremento de la productividad y la disponibilidad de los equipos.

La participación durante la experiencia comenzó con la elaboración de un diagnóstico actual de la situación de la productividad, que resultó en un plan para mejorar la gestión de mantenimiento, como una solución que facilite la integración de los operadores a los procesos de mantenimiento de los equipos de la empresa. El diagnóstico inicial incluyó los niveles de los indicadores base de mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad, así como una observación de los elementos que afectaban la productividad de los equipos, los cuales fueron analizados mediante las técnicas del diagrama de Ishikawa y el Diagrama de Pareto, para identificar las causas principales del problema.

Luego se procedió a estudiar el ciclo de vida de los equipos el análisis y la determinación de los métodos apropiados para los equipos críticos y no críticos, para definir una planificación que incluía una metodología de análisis de modos y efectos de fallas para obtener una valoración cuantitativa mediante el número de prioridad de riesgo lo cual no se llevaba a cabo antes en la organización.

Por otra parte, con la participación colectiva y trabajo en equipo se implantó con toda el área encargada con el fin de ser más participe a un diseño del plan de mantenimiento más apropiado para los equipos seleccionados y creación de actividades y métodos de control que aseguren el cumplimiento de las normas de salud y seguridad organizacional incluyendo todo el equipo involucrado.

En la operación previa a una salida de un equipo se implementó un control de calidad implica revisión y inspección al mínimo detalle del equipo, para lo cual se creó un formato de salida de equipos de servicio. Para la entrega de equipo se añadió sticker de mantenimiento pegado del próximo mantenimiento para llevar un control a visual del operador del equipo y así cuidar su vida útil y colocar fecha y horómetro en los filtros para saber las horas transcurridas de la operación.

Así mismo proporcionar orientación a los supervisores de mantenimiento para resolver asuntos relacionados con RRHH y la capacitación del servicio técnico en el servicio de mantenimiento de equipo y estar en la espera de alquiler para el cliente y desarrollar una calidad de servicio. Para esto se estableció una nueva evaluación de proveedores nuevos y antiguos en cuanto a tiempo de respuestas y de entrega y no tener demoras en el plan de mantenimiento, a su vez se implementó un inventario de los suministros de insumos y de repuestos originales y alternativos e informar al supervisor del control.

Se realizó un control de inventario de máquinas y herramientas adecuadas para el trabajo asignado, de las cuales se observó herramientas no aptas para su uso para el cual se procedió al retiro de estas por razones de seguridad y de trabajo a desarrollar por el personal técnico y asignando coches portátiles para el uso de herramientas y componentes.

Se implementó un área de productos del taller para el desecho de insumos como aceites y combustible ,residuos peligrosos, cilindros recolectores de aceite. Por otra parte cilindros

para desechos de materiales peligrosos y no peligrosos y contribuir con cero contaminaciones ambientales. También se asignó el uso obligatorio de equipo de protección personal, así mismo durante de cada trabajo asignado al inicio de la labor, durante, y después se implantó el habito del orden y limpieza en el área de trabajo .Cabe resaltar que al principio de esta ejecución fue complicado implantar la costumbre de la limpieza. Para los trabajos de soldadura se implementó el uso de biombos de seguridad para evitar que alguna chispa de soldadura provoque algún accidente.

También se realizó por la parte administrativa supervisores completar con las cartillas de mantenimiento y control de archivos de mantenimiento preventivo del equipo, el historial de cada equipo, como la hoja de vida del antecedente de los trabajos realizados con cada informe que brinda el técnico al culminar su trabajo. El personal también reporta las actividades diarias, son informadas bajo un respectivo formato en cuanto a sus actividades realizas con el único fin de saber si este personal es rotado para realizar otras funciones y que estas no se repitan.

Por parte de la empresa busca el mejor desarrollo expuesto con el fin de cumplir con toda la calidad de servicio en el alquiler de equipo para el cliente y comprender los generadores de costos de mantenimiento y promover soluciones rentables entre el personal de mantenimiento.

Por otra parte, con la participación colectiva y trabajo en equipo se implantó con toda el área encargada con el fin de ser más participe a un diseño del plan de mantenimiento más apropiado para los equipos seleccionados y creación de actividades y métodos de control que aseguren el cumplimiento de las normas de salud y seguridad organizacional incluyendo todo el equipo involucrado.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Implementar mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC.

Objetivos específicos

Diagnosticar la situación actual en cuanto a la productividad de los equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.

Elaborar un plan operativo de mejoras basadas en la metodología RCM para la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.

Determinar los costos y beneficios de la implementación de mejoras basadas en la metodología RCM en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.

Estrategias de desarrollo

Para definir las estrategias de desarrollo, se llevó a cabo la contrastación los principios de la gestión de mantenimiento identificados en el marco conceptual con los objetivos propuestos en la experiencia profesional, con el propósito de adaptar las estrategias a realizar con cada una de las fases de la investigación. El resultado de esta práctica se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1. *Alineación de los objetivos de la investigación con las fases de implementación del plan de trabajo.*

Objetivos del estudio	Fases de implementación
Diagnosticar la situación actual en cuanto a la productividad de los equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción del plan de trabajo. • Selección de equipo para análisis de mantenimiento • Definir los límites y funciones de los equipos mediante fichas de trabajo. • Definir las formas en que el sistema puede fallar (análisis de modo de falla). • Identificar las causas principales de los modos de falla. • Evaluar los efectos de las fallas sobre las operaciones y propósitos de la empresa.
Elaborar un plan operativo de mejoras basadas en la metodología RCM para la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar una estrategia de mantenimiento para cada modo de falla. • Implementar y definir métodos de control para asegurar el cumplimiento de las estrategias de mantenimiento aplicadas.
Determinar los costos y beneficios de la implementación de mejoras basadas en la metodología RCM en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.	Determinación del impacto económico y beneficios tangibles de la implementación del plan de mejoras basadas en la metodología RCM.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Diagnóstico de la situación actual en cuanto a la productividad de los equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 S.A.C.

Descripción de los procesos relacionados con el alquiler de equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 S.A.C.

La actividad principal de la empresa CSR 21 S.A.C. es el alquiler de equipos de construcción civil. Para cumplir con este propósito, se cumplen con las siguientes actividades:

- El cliente se comunica con la empresa para hacerles saber de sus necesidades de equipos.
- El cliente es asignado a un asesor comercial, quien le brinda la información respecto al equipo que puede cubrir sus necesidades tipo de máquina, las características, para qué condiciones de trabajo requiere para recomendar el adecuado equipo, así como las condiciones de negociación, tiempos de operación, plazos de entrega y garantías. En este punto se debe determinar si es un cliente nuevo o es un cliente recurrente para facilitar la tramitación de documentos e información.
- Una vez cumplida la fase anterior, se envía la cotización al cliente, Informa el tipo de contrato y condiciones de pago.
- El asesor valida la confirmación con el área de ventas y cobranza para verificar el estado financiero del cliente con la empresa y de esta manera autorizar el nuevo contrato.
- Una vez aceptadas las condiciones expresas en la cotización, el asesor notifica al área técnica para la preparación del equipo y su entrega al cliente.

- El área técnica hace la revisión pertinente del equipo, reportando las condiciones bajo las cuales es entregado al cliente.
- El asesor informa al cliente que día puede recoger el equipo y traer el transporte por parte del cliente para su traslado.
- El cliente retira equipo en las instalaciones de la empresa.
- Una vez finalizado el proceso, se hace una inspección de las condiciones bajo las cuales el cliente entrega el equipo, se hacen las notificaciones y acciones respectivas y el equipo entra a la organización para su mantenimiento post-alquiler.
- El proceso finaliza con el pago del contrato por parte del cliente y las responsabilidades derivadas por los daños eventuales a los equipos.

Como se puede apreciar en la descripción del proceso realizada, la gestión de mantenimiento es un aspecto clave dentro del proceso de alquiler, ya que se debe contar con equipos disponibles para su entrega al momento que el cliente lo solicite y a su vez se debe hacer una revisión minuciosa una vez el equipo sea devuelto para que esté disponible a nuevos contratos.

Para hacer uso de herramientas de gestión visual provistas por la Ingeniería Industrial, en la Figura 5 se presenta el mapa de procesos relacionado con el alquiler de equipos de construcción en la empresa. en este se puede apreciar las actividades descritas cómo procesos clave; Asimismo estos vienen acompañados de los procesos estratégicos y de los procesos de apoyo necesarios para el cumplimiento de los objetivos organizacionales y financieros de la empresa.

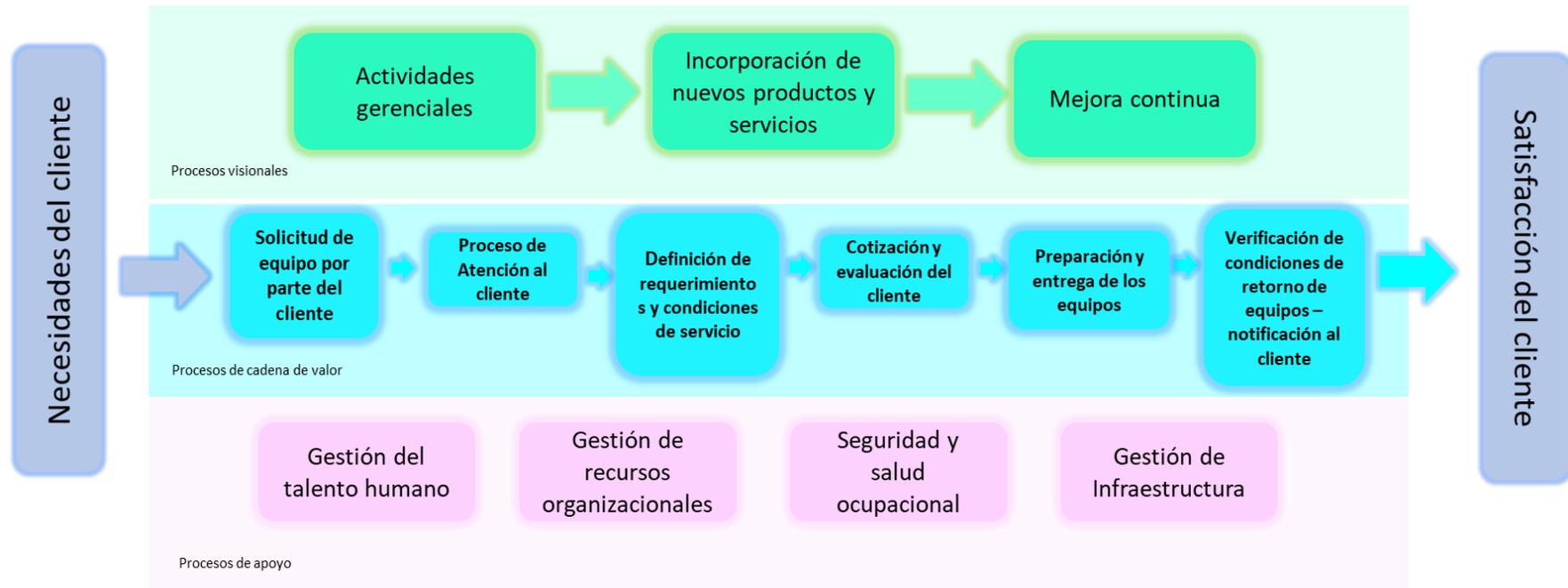


Figura 5. Mapa de procesos - alquiler de equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 S.A.C
Fuente: Elaboración propia (2020)

Una vez realizada la descripción del proceso, se procedió a determinar los índices financieros relacionados con el alquiler de equipos de la empresa. Considerando que la actividad principal de la organización es el alquiler de equipos de construcción, la productividad de los factores viene dada por la comparación entre los ingresos esperados por las operaciones de alquiler y los gastos no planificados incurridos durante las contrataciones con los clientes. Para el cálculo se llevó a cabo las siguientes premisas:

- a) Se determinó un periodo de observación previa al plan de mejoras estimado en 6 meses entre los meses de julio y diciembre del año 2019.
- b) Se calcularon las horas efectivas de operación. es decir las horas que los equipos estuvieron bajo contrato de alquiler en el periodo de observación (Ver Tabla 2).

Tabla 2. *Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).*

Equipo	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	208	200	196	212	199	200	1,215
Minicargador CAT 246D (2)	202	196	200	204	190	202	1,194
Cargador Frontal CAT 950N	182	180	188	192	190	196	1,128
Retroexcavadora CAT	208	200	196	212	199	200	1,215
Rodillo compactador CAT (1)	196	198	202	194	190	192	1,172
Rodillo compactador CAT (2)	190	188	200	196	194	190	1,158
Rodillo compactador CAT (3)	188	195	198	198	195	192	1,166
Totales	1,374	1,357	1,380	1,408	1,357	1,372	8,248

- c) Se obtuvo la información de los ingresos estimados de operación. Esto se calculó multiplicando las horas efectivas de operación por el precio de alquiler por hora de cada equipo: Minicargador CAT 246D (USD 18.00/hora), Cargador Frontal CAT

950N (USD 43.00/hora); Retroexcavadora CAT (USD 24.00/hora) y Rodillo compactador CAT (USD 15.00/hora). Ver resultados en Tabla 3.

Tabla 3. *Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).*

Equipo	Jul.	Ago.	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Minicargador CAT 246D (1)	3,744.00	3,600.00	3,528.00	3,816.00	3,582.00	3,600.00	21,870.00
Minicargador CAT 246D (2)	3,636.00	3,528.00	3,600.00	3,672.00	3,420.00	3,636.00	21,492.00
Cargador Frontal CAT 950N	7,826.00	7,740.00	8,084.00	8,256.00	8,170.00	8,428.00	48,504.00
Retroexcavadora CAT	4,992.00	4,800.00	4,704.00	5,088.00	4,776.00	4,800.00	29,160.00
Rodillo compactador CAT (1)	2,940.00	2,970.00	3,030.00	2,910.00	2,850.00	2,880.00	17,580.00
Rodillo compactador CAT (2)	2,850.00	2,820.00	3,000.00	2,940.00	2,910.00	2,850.00	17,370.00
Rodillo compactador CAT (3)	2,820.00	2,925.00	2,970.00	2,970.00	2,925.00	2,880.00	17,490.00
Totales	28,808.00	28,383.00	28,916.00	29,652.00	28,633.00	29,074.00	173,466.00

d) Luego se recopiló la información referente a los costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes.

Tabla 4. *Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2019).*

Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Mano de obra	3,359.20	2,324.57	2,368.22	3,428.50	2,345.04	2,581.16	16,406.69
Gastos de viaje	238.53	435.01	239.42	245.52	237.08	340.73	1,736.29
Materiales	217.36	315.15	218.17	323.72	416.04	219.36	1,709.80
Trabajos externos	415.27	399.14	416.82	427.43	512.62	419.10	2,590.39
Misceláneos	187.54	84.77	288.24	193.03	186.40	248.27	1,188.26
Repuestos	903.13	1,889.45	906.52	1,029.59	897.64	911.47	6,537.80
Total costo adicionales	5,321.03	5,448.09	4,437.39	5,647.79	4,594.82	4,720.09	30,169.21

e) Esta información permitió determinar los índices financieros relacionados con el alquiler de equipos de la empresa en el periodo de observación, es decir la diferencia entre los ingresos esperados y los recursos que debieron utilizarse para generar esos bienes con la eficiencia esperada por los clientes (Ver Tabla 5). De los resultados se hacen las siguientes observaciones:

- La productividad económica de los factores de producción involucrados en los equipos de la empresa se estimó para el año 2019 en 45.1%.
- Sin embargo, durante las operaciones regulares de alquiler ocurrieron situaciones que obligaron a incurrir en costos adicionales por mantenimiento, que incrementaron los costos reales a un total de USD 30,169.21.
- Este incremento en los costos condujo a una productividad real de los factores de 37,51%, es decir, 7,59% por debajo de lo esperado.
- Los principales gastos adicionales fueron derivados por mano de obra en el mantenimiento de los equipos en alquiler, lo que denota que los procesos de mantenimiento no son efectivos y están incidiendo sobre la productividad.

Tabla 5. *Índices financieros de costos relacionados con el alquiler de equipos de la empresa (julio a diciembre 2019).*

Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Ingresos Estimados	28,808.00	28,383.00	28,916.00	29,652.00	28,633.00	29,074.00	173,466.00
Costos Operativos	12,992.41	12,800.73	13,041.12	13,373.05	12,913.48	13,112.37	78,233.17
Productividad esperada	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%
COSTOS ADICIONALES							
Mano de obra	3,359.20	2,324.57	2,368.22	3,428.50	2,345.04	2,581.16	16,406.69
Gastos de viaje	238.53	435.01	239.42	245.52	237.08	340.73	1,736.29
Materiales	217.36	315.15	218.17	323.72	416.04	219.36	1,709.80
Trabajos externos	415.27	399.14	416.82	427.43	512.62	419.10	2,590.39
Misceláneos	187.54	84.77	288.24	193.03	186.40	248.27	1,188.26
Repuestos	903.13	1,889.45	906.52	1,029.59	897.64	911.47	6,537.80
Total costo adicionales	5,321.03	5,448.09	4,437.39	5,647.79	4,594.82	4,720.09	30,169.21
% costos adicionales	18.47%	19.19%	15.35%	19.05%	16.05%	16.23%	17.39%
% costo de factores incurridos	63.57%	64.29%	60.45%	64.15%	61.15%	61.33%	62.49%
Índice de costos reales	36.43%	35.71%	39.55%	35.85%	38.85%	38.67%	37.51%
Diferencia	-8.67%	-9.39%	-5.55%	-9.25%	-6.25%	-6.43%	-7.59%

El resultado de la evaluación de los índices de productividad de los factores en el periodo julio-diciembre de 2019 arroja un promedio de 37.51% de productividad de los factores en los equipos en alquiler de la empresa, lo que marca una brecha del 7.59% por debajo de la productividad esperada en los procesos de alquiler de equipos, la cual era de 45.10%. Asimismo, en la figura 6 se hace una representación gráfica de los costos incurridos para determinar su impacto sobre la productividad:

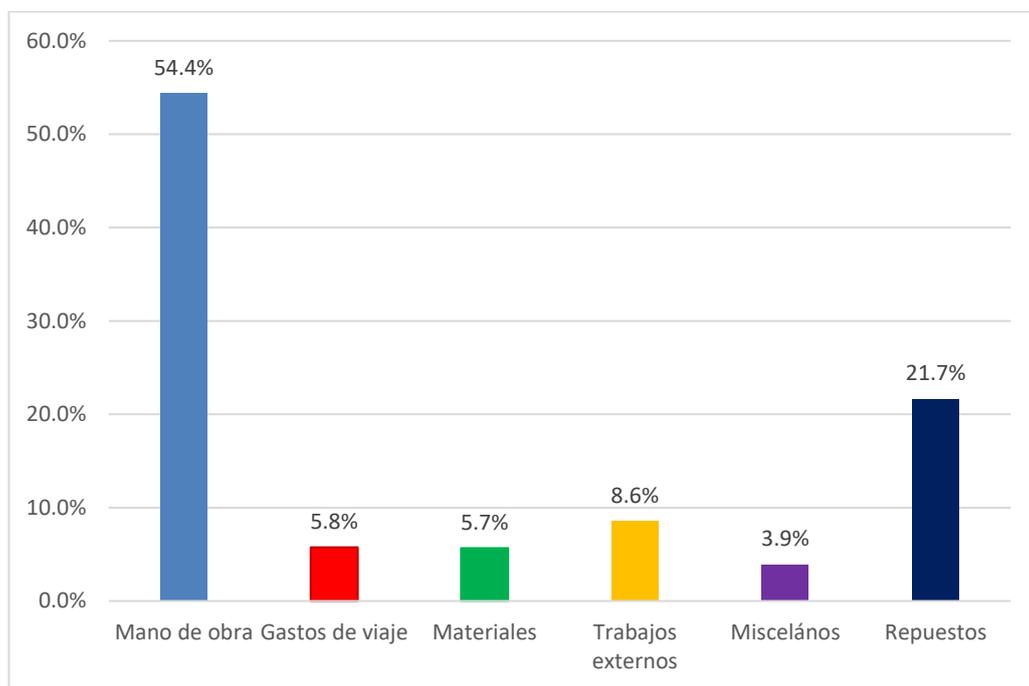


Figura 6. Tipo de costos incurrido por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes

De la figura mostrada se obtiene que el principal factor en el que se incurre para colocar los equipos en condiciones de disponibilidad es la mano de obra con 54.4% seguido del costo de los repuestos por 21.7%.

Asimismo, y en consecuencia de la problemática detectada, se identificó que el inductor más relevante para determinar la productividad operativa de los equipos, la cual fue calculada de la comparación entre horas efectivas de operación y las horas de parada por fallas de los equipos en posesión del cliente (ver Tabla 6):

Tabla 6. *Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.*

Equipo	Horas de operación	Tiempos de parada	Índice de productividad
Minicargador CAT 246D (1)	1,215	78.00	0.935
Minicargador CAT 246D (2)	1,194	72.00	0.936
Cargador Frontal CAT 950N	1,128	133.50	0.881
Retroexcavadora CAT	1,215	41.00	0.966
Rodillo compactador CAT (1)	572	192.50	0.663
Rodillo compactador CAT (2)	558	180.00	0.677
Rodillo compactador CAT (3)	566	138.50	0.755
Totales	6,448.00	835.50	0.870

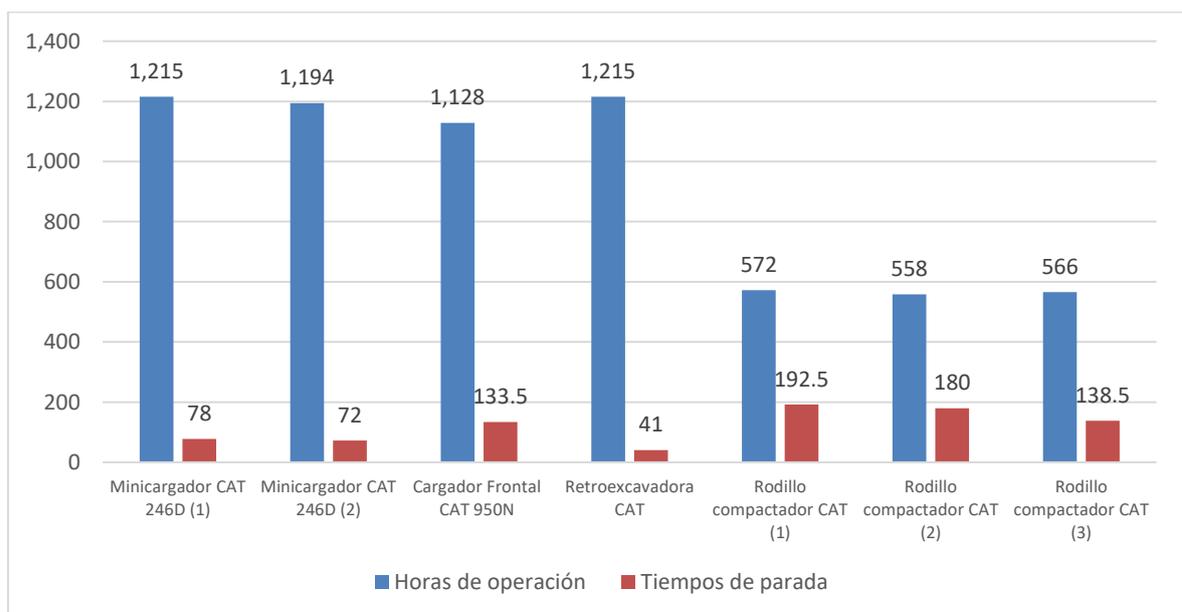


Figura 7. *Índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación previo al plan de mejoras.*

De la tabla anterior se obtuvo que el índice general de productividad operativa durante el periodo de observación previo al plan de mejoras fue de 87%, originado por 835.5 horas de parada en un total de 6,448 horas de operación, lo que indica que existe un 13% de pérdida de la productividad, lo que incide en los resultados financieros de la empresa, la eficiencia de sus procesos de mantenimiento y la imagen frente a sus clientes.

Una vez determinados los indicadores de productividad, se procedió en esta etapa de diagnóstico, a determinar las causas que ocasionan los bajos niveles de productividad en el alquiler de equipos de construcción. Para ello, se elaboró el instrumento denominado *Lista de observación para diagnosticar los factores que inciden en la productividad de los equipos de la empresa*, elaborado por el investigador a partir de la recopilación documental hecha en el marco teórico y contrastando los diagnósticos realizados por otros estudios de similar naturaleza. El instrumento fue agrupado en cinco secciones (métodos de trabajo, maquinarias y equipos, materiales, procesos y personal), de forma tal de poder ofrecer una visión integral del proceso de alquiler de equipos y de los problemas que surgen en dicha actividad (Ver Tabla 7):

Tabla 7. *Lista de observación para diagnosticar los factores que inciden en la productividad de los equipos de la empresa.*

Ítem	Requisitos para evaluar	Ocurre	No ocurre
MÉTODOS			
1	Métodos para identificar y notificar fallas en equipos.		X
2	Evaluación de las causas de fallas.		X
3	Acciones para conservar y mejorar las condiciones.	X	

4	Inspección diaria de los equipos.		X
5	Operación correcta y verificación de procesos.	X	

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

6	Actividades de mantenimiento preventivo.		X
7	Paradas de equipos por falta de mantenimiento.		X
8	Retraso en las reparaciones por falta de repuestos.	X	
9	Existencia de equipos sustitutos de maquinarias.	X	
10	Actividades rutinarias de limpieza de maquinaria.		X

MATERIALES

11	Herramientas básicas.	X	
12	Materiales adecuados.	X	
13	Repuestos menores.	X	
14	Desperdicio de materiales.		X
15	Materiales adecuados para hacer labores de limpieza.		X

PROCESOS

16	Indicadores de gestión de los procesos.		X
17	Procedimiento para manejo de quejas de clientes.	X	
18	Participación del trabajador en las actividades.		X
19	Áreas de mantenimiento limpias y ordenadas.	X	
20	Procedimiento para mantenimiento preventivo.		X

Ítem	Requisitos para evaluar	Ocurre	No ocurre
RECURSOS HUMANOS			
21	Capacitación al personal.		X
22	Conocimiento respecto a lubricación.	X	
23	Conocimiento respecto a mecánica.	X	
24	Propuestas de mejoras por parte del personal.		X
25	Acciones para incrementar habilidades del personal.		X

Las debilidades detectadas en el proceso de observación fueron agrupadas y representadas en un Diagrama de Causa y Efecto, tal como se muestra en la figura 8:

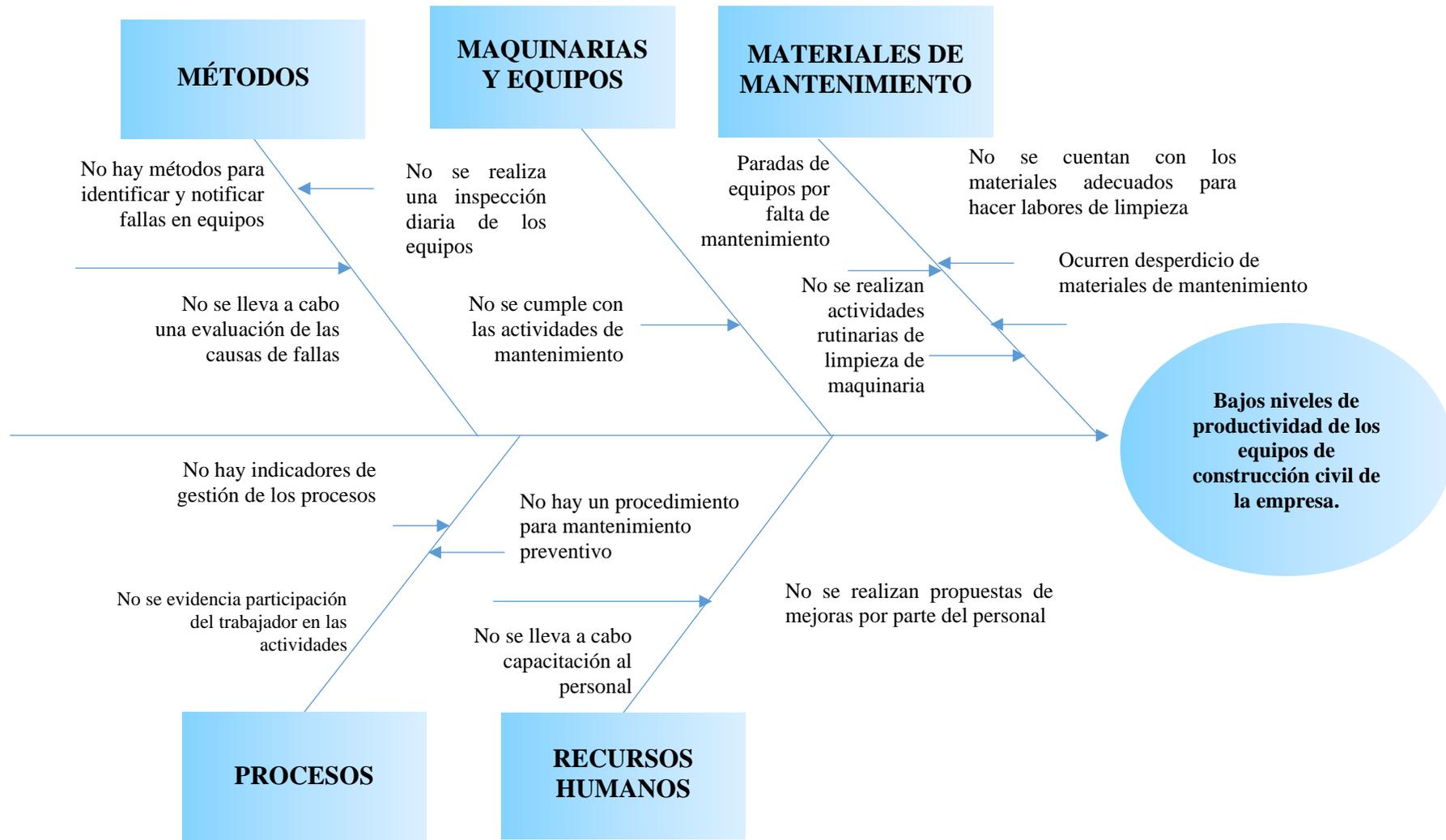


Figura 8. Diagrama de causa y efecto de los aspectos relacionados con la productividad.

Luego se procedió a un proceso de observación durante dos meses para determinar la frecuencia de las debilidades detectadas en el Diagrama de Ishikawa y obtener de esta manera los principales factores que indiquen en la baja productividad de los equipos (Tabla 8) a partir de los criterios del Diagrama de Pareto (Ver Figura 9) y en la Tabla 9 se muestra Matriz de los porqué para evaluar las razones de ocurrencia las situaciones más frecuentes que afectan los niveles de productividad de las maquinarias y equipos de la empresa:

Tabla 8. *Frecuencia de ocurrencia de los factores que afectan la productividad*

Situación detectada	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje acumulado
Falta de mantenimiento preventivo	54	34.6%	34.6%
No hay procedimiento de mantenimiento	32	20.5%	55.1%
Falta de inspección diaria	25	16.0%	71.2%
Falta de capacitación	14	9.0%	80.1%
Métodos para notificar fallas	11	7.1%	87.2%
Falta de indicadores	7	4.5%	91.7%
No se evalúan causas	4	2.6%	94.2%
Paradas de equipos por mantenimiento	3	1.9%	96.2%
No se realizan limpiezas rutinarias	2	1.3%	97.4%
No hay propuestas de mejora	1	0.6%	98.1%
Falta de materiales de limpieza	1	0.6%	98.7%
Desperdicio de materiales	1	0.6%	99.4%
Participación del trabajador	1	0.6%	100.0%

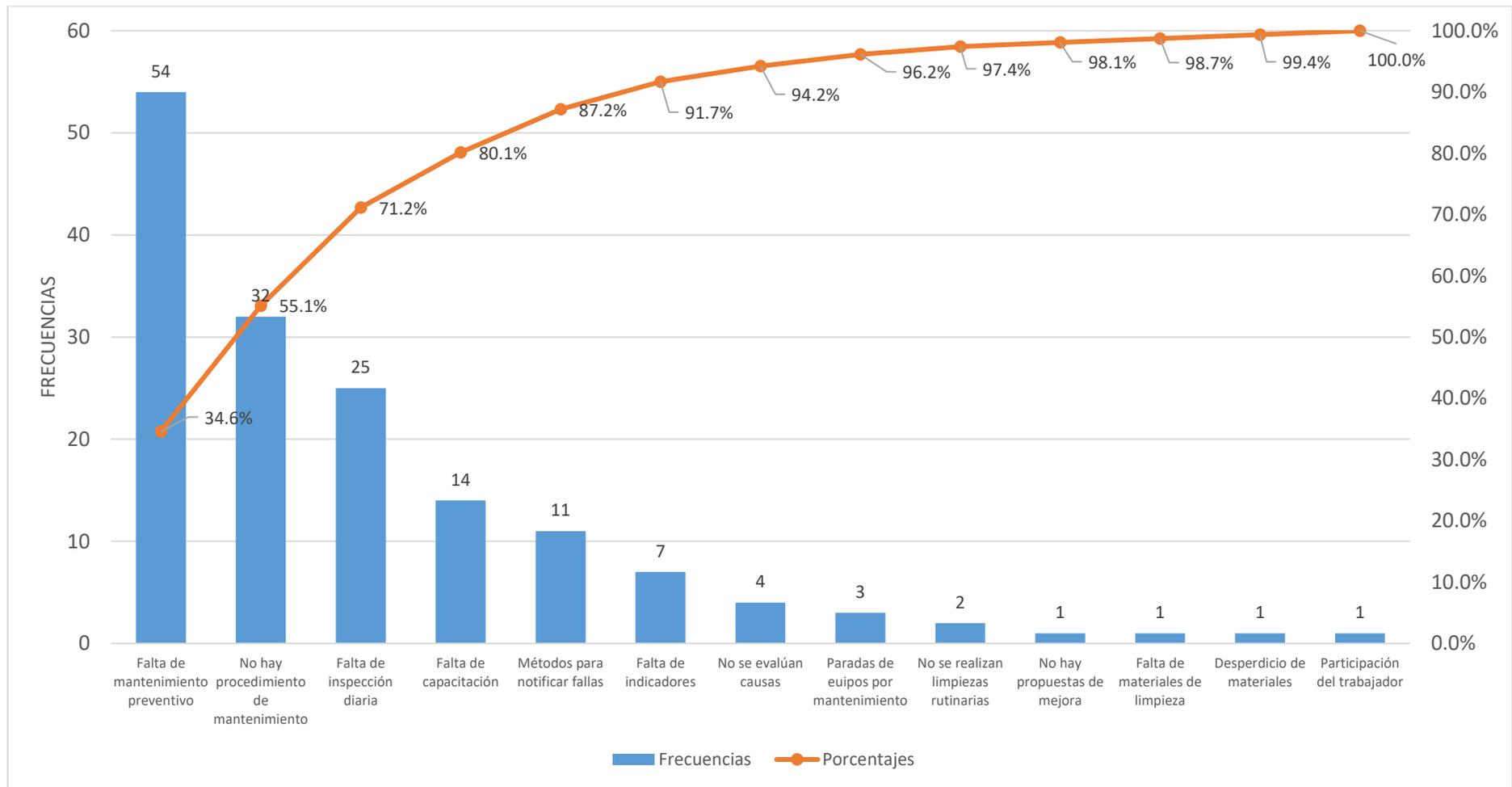


Figura 9. Frecuencia de ocurrencia de los principales factores que inciden en la baja productividad de los equipos de la empresa.

Tabla 9. Matriz de los porqué para evaluar las razones de ocurrencia las situaciones más frecuentes que afectan los niveles de productividad de los equipos de construcción civil de la empresa.

PROBLEMA POR ESTUDIAR	W1	W2	W3	W4	W5	RESULTADO DEL ANÁLISIS
	Falta de mantenimiento preventivo.	No se había medido el impacto del mantenimiento en el desempeño general de la empresa.	No se había establecido relación entre el beneficio económico y la gestión de mantenimiento.	No se cumplía con las recomendaciones del fabricante respecto al mantenimiento.	No se habían incluido los manuales del fabricante dentro de los documentos de referencia para gestionar el mantenimiento	Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad para ser incluidos en el plan de mejoras. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado.
Bajos niveles de productividad de los equipos de construcción civil de la empresa.	No hay procedimiento de mantenimiento.	La empresa no cuenta con normas y procedimientos formales en ninguna área.	No se ha desarrollado un sistema de gestión de calidad en la empresa.	La dirección de la empresa no había manifestado interés en formalizar los procesos.	Las exigencias del trabajo habían postergado la decisión de formalizar los procesos internos.	Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC. Plan de mantenimiento preventivo.
	Falta de inspección diaria.	No había forma de verificar si un equipo había sido inspeccionado antes de salir al cliente.	No se habían diseñado formatos para hacer las inspecciones.	El responsable del área de mantenimiento no había implementado controles.	Las inspecciones que se realizaban eran llevadas a cabo sin ningún método de control.	Control y seguimiento del plan de mantenimiento. Adquisición de Stock de Repuestos.

Falta de capacitación	No se había implementado un plan de formación al personal en ninguna área de la empresa.	Existía una alta rotación de personal.	No se habían determinado las competencias previas de los trabajadores.	El área de recursos humanos no había creado los requisitos adecuados para el personal.	Plan de formación al personal en mantenimiento bajo metodología RCM
-----------------------	--	--	--	--	---

Evaluación de las alternativas de solución.

Una vez determinadas las causas y el efecto (baja productividad de la empresa), se plantean las siguientes alternativas de solución:

- a. Alternativa A: Contratación de una empresa consultora para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo de equipos. Esta alternativa consiste básicamente en la tercerización del proceso de mantenimiento de la empresa para incrementar la productividad a través de una empresa de consultoría especializada en este tipo de actividades.
- b. Alternativa B: Implementación de la metodología RCM para mejorar la productividad. Para esta propuesta se propone el aprovechamiento de los talentos, conocimientos y recursos que se dispone en la organización para nivelar la empresa a los requisitos necesarios a los niveles de producción presupuestados.
- c. Alternativa C: Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) con recursos propios. De igual manera, se propone el aprovechamiento de los talentos conocimientos y recursos que se dispone en la organización para mejorar la mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad de los equipos.

Evaluación y selección de la propuesta de solución

Para la selección de la mejor alternativa de solución, se recurrió a la denominada matriz FACTIS, que implica los siguientes criterios:

F= Facilidad de implementación;

A= Afectación o impacto a otras áreas;

C= Calidad;

T= Tiempo de solución del problema;

I= Inversión, y

S= Seguridad.

Esta matriz se trabajará con los siguientes factores de ponderación:

1= Muy difícil de implementar con la solución elegida.

2= Difícil de implementar con la solución elegida.

3= No se puede determinar el grado exacto de facilidad o dificultad:

4= Fácil de implementar con la solución elegida

5= Muy fácil de implementar con la solución elegida

Un tercer aspecto por evaluar es la importancia del factor de ponderación en ese caso en la evaluación se estableció un criterio del 1 al 10 en el cual el 10 era críticamente importante y el uno sin importancia. Con base en los criterios y factores de ponderación identificados, se procedió a elaborar la siguiente matriz FACTIS para la selección de la mejor alternativa de solución (Ver Tabla 10):

Tabla 10. Matriz *FACTIS* para la selección de la mejor alternativa de solución relacionadas con el incremento de la productividad de las maquinarias y equipos de la empresa.

Criterio	Importancia	<i>Alternativa A:</i> Contratación de una empresa consultora para la implementación de un plan de mantenimiento preventivo de equipos			<i>Alternativa B:</i> Implementación de la metodología RCM para mejorar la productividad.			<i>Alternativa C:</i> Implementación del mantenimiento productivo total (TPM) con recursos propios.		
		Evaluación	Valor	Puntos	Evaluación	Valor	Puntos	Evaluación	Valor	Puntos
Factibilidad	10	Oferta de empresas consultoras	2	20	Disponibilidad de personal calificado	5	50	Disponibilidad de personal calificado	3	30
Afectación	9	Ninguna	4	36	Tiempo de ocupación para la implementación	5	45	Tiempo de ocupación para la implementación	3	27
Calidad	10	Adecuación a estándares	4	40	Adecuación a estándares	4	40	Adecuación a estándares	4	40
Tiempo	8	6 meses	2	16	3 meses	5	40	6 meses	2	12
Inversión	10	Alta inversión	1	10	Moderada inversión	4	40	Baja inversión	5	50
Seguridad	7	Aumento de la seguridad	4	28	Aumento de la seguridad	5	35	Aumento de la seguridad	5	35
Totales				150			250			194

Una vez realizada la matriz de selección de alternativas, se escogen la opción B, Implementación de la metodología RCM para mejorar la productividad.

Elaboración un plan operativo de mejoras basadas en la metodología RCM para la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC.

El plan operativo de mejoras basadas en la metodología RCM se hizo con base en el ciclo de Deming (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar):

Fase I. Planificación de las actividades

Una vez determinadas y aprobadas las alternativas de solución para incrementar productividad de las maquinarias y equipos de construcción de la empresa, se procedió a la planeación de cada una de las actividades propuestas de acuerdo con el modelo seleccionado (RCM).

Con este propósito se elaboró un cronograma de actividades, el cual se presenta en la Figura 10 en forma de Diagrama de Gantt. Dichas actividades fueron organizadas con base en la metodología de mejora continua que propone el ciclo de Deming o PDCA. De esta manera, el plan de mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC fue desarrollado durante un lapso de 90 días entre los meses de julio y setiembre del año 2020 e implicó las siguientes actividades y beneficios, lo que implicó el cálculo de razones o indicadores financieros de factibilidad, y el análisis cualitativo de la experiencia.

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	JULIO 2020				AGOSTO 2020				SETIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fase I. Planificar												
Definición del modelo de RCM a implementar												
Planificación de actividades de mejora:												
1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad												
2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado												
3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC												
4. Plan de mantenimiento preventivo												
5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento												
6. Adquisición de Stock de Repuestos												
7. Capacitación al personal												
Asignación de responsabilidades y plazos de entrega												
Estimación de costos mediante presupuesto de implementación												
Fase II. Hacer												
1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad:												
Cálculo de indicadores base de mantenimiento (confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad).												
Identificación de los equipos con menor disponibilidad.												

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	JULIO 2020				AGOSTO 2020				SEPTIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado												
Identificación de equipos.												
Elaboración de hoja técnica de cada equipo a intervenir												
Elaboración de lista de partes.												
3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC												
Elaboración del análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC												
Elaboración del análisis de fallas para el Cargador Frontal y rodillo compactador												
Determinación de criterios de gravedad												
Determinación de criterios de probabilidad de falla												
Determinación de criterios de detectabilidad de falla												
Evaluación del efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa												
4. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM												
Elaboración de plan de mantenimiento preventivo del cargador frontal Caterpillar.												
Elaboración de plan de mantenimiento preventivo del rodillo compactador Caterpillar.												
5. Control y seguimiento del plan de mantenimiento												
Actividades de control y seguimiento.												
Formatos de control e inspección.												

ACTIVIDADES	MESES/SEMANAS											
	JULIO 2020				AGOSTO 2020				SETIEMBRE 2020			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6. Adquisición de Stock de Repuestos												
Determinación de inventario												
Cotización de compras.												
7. Capacitación al personal												
Formación en metodología RCM.												
Formación en mecánica básica.												
Formación en mantenimiento de partes electrónicas.												
Fase III. Verificar												
Recolección de datos para evaluar resultados post implementación												
Cálculo y comparación de índice de confiabilidad												
Cálculo y comparación de índice de mantenibilidad												
Cálculo y comparación de índice de disponibilidad												
Cálculo y comparación de índice de productividad												
Estimación del flujo proyectado de caja sin implementación												
Estimación del flujo proyectados de caja con implementación												
Cálculo de los indicadores de costo y beneficio												
Fase IV. Actuar												
Evaluación de resultados con la dirección												

Figura 10. Diagrama de Gantt de la implementación de mejoras basadas en RCM para la gestión de mantenimiento

Definición del modelo de RCM a implementar.

La primera actividad consistió en la definición de las actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC. Dichas actividades se muestran en la Figura 11:



Figura 11. Actividades por implementar para mejorar la gestión de mantenimiento basadas en la metodología RCM

Asignación de responsabilidades y plazos de entrega.

En la tabla 11 se presenta la asignación de responsabilidades y plazos de entrega de cada una de las actividades programadas para el logro de la implementación:

Tabla 11. *Asignación de responsabilidades y plazos de entrega de cada una de las actividades programadas*

Actividad	Responsables	Recursos	Plazo de entrega
Cálculo de indicadores base de equipos	Investigador (Asistente Planner Junior)	Base de datos de mantenimiento 2019	07/07/2020
Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado	Investigador/Jefe de Servicio Técnico	Información del fabricante	21/07/2020
Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC	Investigador (Asistente Planner Junior)	Plantilla AMEF	28/07/2020
Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM	Investigador (Asistente Planner Junior)	Plantilla AMEF, Hoja técnica, Ficha de partes	30/07/2020
Control y seguimiento del plan de mantenimiento	Investigador/Jefe de Servicio Técnico	Plan de mantenimiento, Formatos	15/08/2020
Adquisición de Stock de Repuestos	Jefe de Logística/Tesorería	Plan de repuestos RCM	15/08/2020
Cálculo de indicadores posteriores de equipos	Investigador (Asistente Planner Junior)	Base de datos de mantenimiento 2020	30/09/2020
Capacitación al personal	Investigador/Jefe de Servicio Técnico	Instructivos de mantenimiento	30/09/2020

Estimación de costos mediante presupuesto de implementación.

Se refleja en la tabla 12 los costos de implementación incurridos a lo largo de la experiencia profesional en la empresa Minera Huínac S.A.C.

Tabla 12. *Estimación de los costos incurridos en la implementación del RCM*

Descripción	Costo total en USD
Participación del investigador	3,815.00
Participación de los colaboradores del área de mantenimiento	6,540.00
Participación de los colaboradores de otras áreas	3,950.00
Inventario de repuestos utilizados en el mantenimiento preventivo	3,066.11
Material de oficina para presentación de la propuesta	50.00
Alquiler de proyector para presentación de resultados	30.00
Total	17,451.11

Fase 2. Hacer el plan de RCM

Actividad 1. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad

Cálculo de indicadores base de equipos: Para llevar a cabo el cálculo de indicadores base de equipos de los equipos que la empresa se ofrece a sus clientes en calidad de alquiler, se tomaron en cuenta las siguientes acciones:

- a. Identificación de los equipos que CSR21 S.A.C. ofrece a sus clientes bajo contrato de alquiler
- b. Determinación de los tiempos de parada por equipos en el período de observación.

- c. Desarrollo de los indicadores. Con el objetivo de llevar un control de la gestión de mantenimiento, se hará uso de indicadores como la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad.
- d. Determinación de los equipos con menores niveles de disponibilidad para ser incluidos en el plan de mejoras.

Tabla 13. *Maquinarias y equipos de la empresa CSR21 S.A.C.*

<i>Nombre del equipo</i>	<i>Cantidad</i>
Minicargador CAT 246D	2
Cargador Frontal CAT 950N	1
Retroexcavadora CAT	3
Rodillo compactador CAT	1
Total	7

El proceso de observación fue llevado a cabo entre los meses de julio y diciembre de 2019, en el cual se detectaron las horas de operación, la cantidad de fallas y los tiempos de parada para el cálculo de los indicadores:

Tabla 14. *Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2019)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						Total
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
Minicargador CAT 246D (1)	208	200	196	212	199	200	1,215
Minicargador CAT 246D (2)	202	196	200	204	190	202	1,194
Cargador Frontal CAT 950N	182	180	188	192	190	196	1,128
Retroexcavadora CAT	208	200	196	212	199	200	1,215
Rodillo compactador CAT (1)	196	198	202	194	190	192	1,172
Rodillo compactador CAT (2)	190	188	200	196	194	190	1,158
Rodillo compactador CAT (3)	188	195	198	198	195	192	1,166

En la Tabla 15 se indican los números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas:

Tabla 15. *Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2019)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	3	5	2	4	3	2	19
Minicargador CAT 246D (2)	2	4	3	2	4	3	18
Cargador Frontal CAT 950N	4	5	6	7	3	2	27
Retroexcavadora CAT	2	1	4	2	3	2	14
Rodillo compactador CAT (1)	6	7	6	9	11	4	43
Rodillo compactador CAT (2)	7	5	4	7	8	5	36
Rodillo compactador CAT (3)	5	6	5	6	5	4	31

Asimismo, en la Tabla 13 se detallan los tiempos de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en horas:

Tabla 16. *Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en horas (julio-diciembre 2019)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	12.0	21.0	9.0	17.0	11.0	8.0	78.0
Minicargador CAT 246D (2)	9.0	17.0	12.0	8.0	14.0	12.0	72.0
Cargador Frontal CAT 950N	20.0	24.0	31.0	33.5	15.0	10.0	133.5
Retroexcavadora CAT	6.0	3.0	11.0	6.0	9.0	6.0	41.0
Rodillo compactador CAT (1)	26.0	31.5	27.0	40.5	49.5	18.0	192.5
Rodillo compactador CAT (2)	33.0	26.0	20.0	34.0	38.0	29.0	180
Rodillo compactador CAT (3)	22.5	27.0	20.5	29.5	21.0	18.0	138.5

Indicador de confiabilidad: Se define como la probabilidad de que una máquina o equipo funcione satisfactoriamente, durante un tiempo específico y bajo condiciones operativas dadas. La confiabilidad se cuantifica mediante el tiempo medio entre fallos (MTBF).

Tiempo medio entre fallos (MTBF): Mide el tiempo promedio que el equipo puede operar a su capacidad, sin interrupciones dentro de un periodo considerado. Su fórmula es la siguiente:

$$MTBF = \frac{HROP}{NTFALLAS + 1}$$

Ecuación 1. Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Donde:

HROP= Total horas de operación

NTFALLAS= Número de fallas detectadas

Indicador de mantenibilidad: Se define como la probabilidad de que un equipo, pueda ser reparado a una condición especificada en un periodo de tiempo determinado y quedar en condiciones operativas. Se cuantifica mediante el tiempo medio de reparaciones (MTTR).

$$MTTR = \frac{TTF}{NTFALLAS}$$

Ecuación 2. Tiempo medio de reparaciones (MTTR)

Donde:

TTF= Tiempo total de fallas

NTFALLAS= Número de fallas detectadas

Indicador de disponibilidad: Se considera el principal indicador asociado al mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que un equipo esté disponible para su uso en un periodo de calendario dado. Para realizar un análisis de disponibilidad del equipo se debe tener en cuenta los correctivos y fallos, así como las actividades de mantenimiento programado que le aplican.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ecuación 3. Indicador de disponibilidad

Donde:

MTBF= tiempo medio entre fallos

MTTR= Tiempo medio de reparaciones

De esta forma, en la Tabla 17 se presentan los indicadores de mantenimiento de la empresa en el periodo previo a la implementación del plan:

Tabla 17. *Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo previo a la implementación del plan.*

Equipo	Horas de operación	Número de fallas	Horas de parada por fallas	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Minicargador CAT 246D (1)	1,215	19	78.00	60.75	4.11	0.937
Minicargador CAT 246D (2)	1,194	18	72.00	62.84	4.00	0.940
Cargador Frontal CAT 950N	1,128	27	133.50	40.29	4.94	0.891
Retroexcavadora CAT	1,215	14	41.00	81.00	2.93	0.965
Rodillo compactador CAT (1)	1,172	43	192.50	26.64	4.48	0.856
Rodillo compactador CAT (2)	1,158	36	180.00	31.30	5.00	0.862
Rodillo compactador CAT (3)	1,166	31	138.50	36.44	4.47	0.891
Total	8,248.00	188	835.5	43.64	4.44	0.908

De los resultados obtenidos en la Tabla 17 se pueden emitir los siguientes análisis:

- a. Existe una pérdida del 9,24% del tiempo total de uso de maquinarias, en vista de que de las 8.248 horas de operación, ocurrieron 835.5 horas de paradas.
- b. Se obtuvo un índice de disponibilidad de equipos de 90.8%, lo que denota fallas en el proceso de mantenimiento preventivo.
- c. La frecuencia de fallas de equipos (confiabilidad) es de cada 43.64 horas.
- d. El tiempo de mantenimiento promedio por falla es de 4.44 horas.
- e. El equipo con el mayor índice de disponibilidad es la retroexcavadora CAT, con 96.5%
- f. Como aspecto más importante de la evaluación, se determinó que los equipos que presentan mayores niveles de criticidad son los tres rodillos compactadores, con índices de disponibilidad de 85.6%, 86.2% y 89.1% cada uno, así como el cargador frontal, con 89.1%, cada uno de ellos obtuvo un índice menor a los requisitos establecidos por la empresa (90% de disponibilidad).

Como primer paso del plan de mejoras para la gestión de maquinarias y equipos críticos en la empresa **CSR 21 SAC.**, fue necesario implementar un sistema, para identificar de forma única a cada equipo. Con el fin de cumplir la premisa anterior, se establece un sistema de códigos de 10 dígitos que ayude en este proceso de identificación. Los 5 primeros dígitos del código identifican a la empresa, los 2 siguientes el nombre abreviado de la máquina, el siguiente la inicial del fabricante y los 2 últimos el número asignado a cada máquina. A continuación se presentan los códigos asignados a las distintas máquinas y equipos de la empresa determinados como equipos críticos en la evaluación inicial (Ver Tabla 18):

Tabla 18. *Codificación de equipos seleccionados para el análisis RCM*

Nombre del equipo	Marca	Código
Cargador Frontal	Caterpillar	CSR21-CF-C-01
Rodillo Compactador	Caterpillar	CSR21-RC-C-01 CSR21-RC-C-02 CSR21-RC-C-03

Actividad 2. Definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado.

Para definir estas características se diseñaron los formatos de ficha Técnica de equipo (CSR21-HT-XX-X) y lista de partes de equipo (CSR21-LP-XX-X) en las cuales se definen las características principales de los equipos y los elementos o componentes de cada uno de ellos. A continuación en la Tabla 19 se presentan la ficha técnica y en la Tabla 20, la lista de partes para el cargador frontal Caterpillar de la empresa (CSR21-CF-C-01)

Tabla 19. Hoja técnica del Cargador Frontal de la empresa

CSR 21 SAC

Hoja Técnica de Máquina



CSR21-HT-CF-C

CARGADOR FRONTAL CATERPILLAR 950 (CSR21-CF-01)

Modelo de motor	C7.1 Cat
Potencia neta	185 KW
Par neto máximo: 1.400 rpm	984 N.m
Emisiones	Tier 3/Stage IIIA
Longitud total sin cucharón	6.906 mm
Longitud entre ejes	3.305 mm
Altura máxima	3.413 mm
Neumáticos radiales Michelin	23.5R25 XHA2 1.3.
Tanque de combustible	275 L
Transmisión	43 L
Sistema de enfriamiento	59 L
Nivel de presión acústica exterior (SAE 08:2013)	75 dB
Velocidad máxima	39.5 km/h
Fuerza de desprendimiento	181 kN
Capacidades del cucharón	2,5-9,2 m ³
Peso	19.214 kg

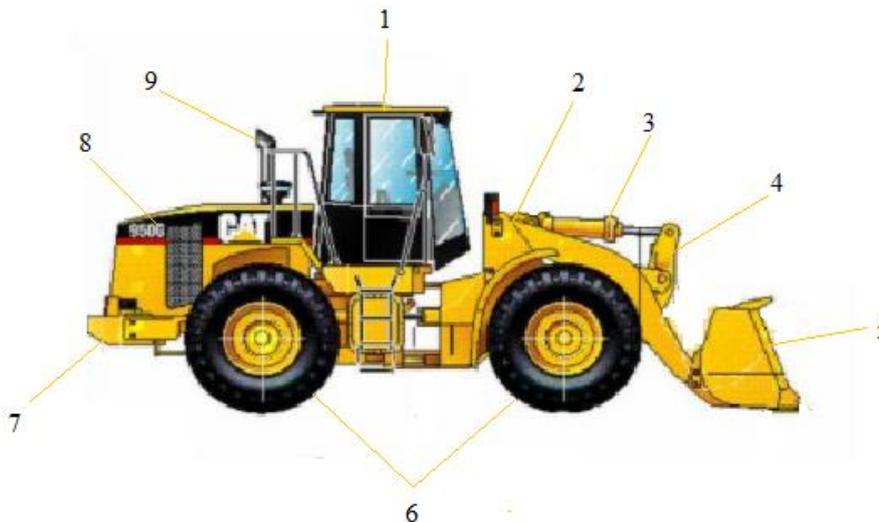
Tabla 20. *Lista de partes del Cargador Frontal de la empresa*

CSR 21 SAC

Lista de partes
Cargador Frontal Caterpillar
(CSR21-CF-C-01)



CSR21-LP-CF-C



Elemento	Descripcion
1	Cabina de conduccion
2	Brazo de levante
3	Cilindro hidraulico
4	Varillaje inclinacion del cucharon
5	Cucharon
6	Ruedas y Cauchos
7	Contrapeso
8	Motor
9	Escape

En la Tabla 21 se encuentran las especificaciones y en la Tabla 22 listas de piezas del rodillo compactador utilizado por la empresa

Tabla 21. Hoja técnica del Rodillo Compactador de la empresa

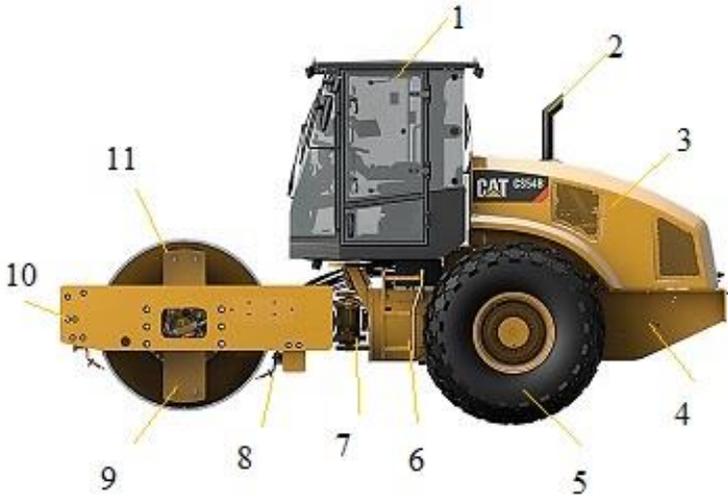
CSR21 SAC
Hoja Técnica de Máquina



CSR21-HT-RC-C

RODILLO COMPACTADOR CATERPILLAR (CSR21-RC-C-01.02 Y 03)	
Modelo de motor	3054C
Potencia neta	97 KW
Par neto máximo: 1.400 rpm	826 N.m
Emisiones	Tier 3/Stage IIIA
Longitud total sin cucharón	5.510 mm
Longitud entre ejes	2.905 mm
Altura máxima	3.070 mm
Ancho rodillo	2.130 mm
Diámetro rodillo	1.534 mm
Grosor Rodillo o tambor	25 mm
Neumáticos radiales Michelin	23,1" x 26"
Tanque de combustible	200 L
Transmisión	63 L
Sistema de enfriamiento	48 L
Nivel de presión acústica exterior (SAE 08:2013)	63 dB
Velocidad máxima	12 km/h
Peso	10.265 kg

Tabla 22. Lista de partes del rodillo compactador de la empresa

<p style="text-align: center;">CSR 21 SAC Lista de partes Cargador Frontal Caterpillar (CSR21-RC-C-01,02 Y 03)</p>	 <p style="text-align: center;">CSR21-LP-RC-C</p>																								
																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Elemento</th> <th style="text-align: center;">Descripcion</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">Cabina de conducción</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">Tubo de escape</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">Motor</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">4</td><td style="text-align: center;">Contrapeso</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">Ruedas y Cauchos</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">6</td><td style="text-align: center;">Transmision</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">7</td><td style="text-align: center;">Eje basculante</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">8</td><td style="text-align: center;">Boquilla aspersora</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">9</td><td style="text-align: center;">Soporte rodillo</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">Chassis de rodillo</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">11</td><td style="text-align: center;">Rodillo</td></tr> </tbody> </table>	Elemento	Descripcion	1	Cabina de conducción	2	Tubo de escape	3	Motor	4	Contrapeso	5	Ruedas y Cauchos	6	Transmision	7	Eje basculante	8	Boquilla aspersora	9	Soporte rodillo	10	Chassis de rodillo	11	Rodillo	
Elemento	Descripcion																								
1	Cabina de conducción																								
2	Tubo de escape																								
3	Motor																								
4	Contrapeso																								
5	Ruedas y Cauchos																								
6	Transmision																								
7	Eje basculante																								
8	Boquilla aspersora																								
9	Soporte rodillo																								
10	Chassis de rodillo																								
11	Rodillo																								

Actividad 3. Análisis de modo de fallas para los equipos y máquinas de la empresa CSR 21 SAC.

El primer paso en el análisis de falla fue una vez identificado el modo de falla de la maquina o equipo, determinar el efecto y la causa. Para el Cargador Frontal Caterpillar de la empresa se tuvo que:

Tabla 23. *Análisis de fallas para el Cargador Frontal*

Modo de Falla	Efecto de la falla	Causa de la falla
Motor de arranque no funciona	No enciende el motor del equipo	Bocinas o Carbones del motor de arranque
Alta temperatura del motor	Recalentamiento del motor	Rotura del radiador
Pérdida de potencia en la bomba hidráulica	No se mueve el cilindro hidráulico	Válvula solenoide defectuosa
Fuga de aceite hidráulico	No se mueve el cilindro hidráulico	Manguera rota o floja en el conector
Pérdida de potencia del motor	Motor no acelera.	Filtro de aire sucio

En la tabla anterior se verificó que modos de fallas distintos pueden tener el mismo efecto en el equipo, por lo que es de suma importancia poder identificar correctamente el problema del equipo.

Luego se procedió a evaluar el efecto, la causa de la falla y los controles actuales que utiliza la empresa, en base a la gravedad (S), Probabilidad de ocurrencia (O) y la Detectabilidad (D). Para esto el comité de RCM analiza cada falla y asigna un valor numérico representativo utilizando las tablas de gravedad, probabilidad y detección que se presentan a continuación:

Tabla 24. *Tabla para evaluar la gravedad de falla..*

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevada.	7-8
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el proceso.	4-6
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1

Tabla 25. *Tabla para evaluar la Probabilidad de falla (O) para la realización del AMEF.*

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1

Tabla 26. *Tabla para evaluar la Detectabilidad de falla (D) para la realización del AMEF.*

Detectabilidad	Criterio	Valor
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1

Tabla 27. *Evaluación de de las fallas en el Cargador Frontal Caterpillar*

Modos de fallo	Efecto	S	Causa	O	Controles	D
Motor de arranque no funciona	No enciende el motor del equipo	8	Bocinas o Carbones del motor de arranque	8	Inspección Correctivo	6
Alta temperatura del motor	Recalentamiento del motor	7	Rotura del radiador	5	Inspección Correctivo	5
Perdida de potencia en la bomba hidráulica	No se mueve el cilindro hidráulico	8	Válvula solenoide defectuosa	7	Inspección Correctivo	5
Fuga de aceite hidráulico	No se mueve el cilindro hidráulico	6	Manguera rota o floja en el conector	5	Inspección Correctivo	4
Perdida de potencia del motor	Motor no acelera	5	Filtros de aire sucios	7	Inspección Correctivo	5

Con los valores obtenidos en la tabla anterior se calcula el número de probabilidad de riesgo de la falla (NPR), el cual se obtiene de la siguiente ecuación:

$$NPR = S * O * D$$

Tabla 28. *Probabilidad de riesgo de las fallas en el Cargador Frontal*

Modos de fallo	S	O	D	NPR
Motor de arranque no funciona	8	8	6	384
Alta temperatura del motor	7	5	5	175
Pérdida de potencia en la bomba hidráulica	8	7	5	280
Fuga de aceite hidráulico	6	5	4	120
Pérdida de potencia del motor	5	7	5	175

Una vez obtenidos los respectivos NPR, el comité RCM procedió a analizar las acciones a tomar para la corrección de los modos de falla que presento el equipo y se realiza el cálculo del nuevo NPR una vez aplicada las correcciones.

 Tabla 29. *Probabilidad de riesgo de las fallas luego de las acciones correctivas en el Cargador Frontal Caterpillar.*

Modos de fallo	Acciones	S	O	D	NPR
Motor de arranque no funciona	Cambio de bocinas y carbones. Inspección programada	8	8	3	192
Modos de fallo	Acciones	S	O	D	NPR
Alta temperatura del motor	Reparación radiador. Inspección Programada	7	5	2	70
Pérdida de potencia en la bomba hidráulica	Sustitución de la válvula. Inspección y Prueba Programada	8	7	3	163
Fuga de aceite hidráulico	Sustitución o ajuste de la manguera hidráulica defectuosa. Inspección Programada	6	5	2	60
Pérdida de potencia del motor	Sustitución de Filtros. Inspección Programada.	5	7	2	70

De acuerdo con la tabla anterior, los NPR de los distintos modos de falla, disminuyen notablemente luego de la toma de las acciones correctivas, las cuales están basadas en la aplicación de una inspección continua de los equipos por parte de los operarios y los técnicos

de mantenimiento y la sustitución de partes defectuosas en los equipos, lo cual busca lograr que estos fallen en una menor proporción y las fallas presentadas se detecten durante las inspecciones del mantenimiento preventivo. De igual manera, en el Anexo 2 se presenta el AMEF del rodillo compactador.

Actividad 4. Plan de mantenimiento preventivo basado en RCM

Una vez realizados y analizados los AMEF para cada equipo se procede a la realización de un plan de mantenimiento basado en RCM, el cual se diseña en base a las acciones recomendadas en los AMEF para cada máquina.

Tabla 30. *Plan de mantenimiento preventivo del cargador frontal Caterpillar*

Falla	Acciones preventivas	Encargado y estrategia
Motor de arranque no funciona	Inspección visual y auditiva. Inspección programada	Operario (Diaria) Técnico electricista (Cada 1000 horas)
Alta temperatura del motor	Inspección visual diaria. Inspección programada.	Operario (Diaria) Técnico mecánico (Semanal)
Pérdida de potencia en la bomba hidráulica	Inspección y prueba programada.	Técnico electricista (Cada 500 horas)
Fuga de aceite hidráulico	Inspección visual. Ajuste de conexiones	Operario (Diaria) Técnico mecánico (Cada 250 horas)
Pérdida de potencia del motor	Inspección visual. Reemplazo programado	Operario (Diaria) Técnico mecánico (Cada 250 horas)

A continuación se presenta el plan general de mantenimiento preventivo elaborado para la empresa CSR21 S.A.C. en el cual se presentan los lineamientos a seguir para lograr la disminución de fallas y el óptimo funcionamiento de las máquinas y equipos de la empresa.

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

1. OBJETIVO

Establecer el correcto proceso para desarrollar las actividades de mantenimiento de los equipos críticos de la empresa CSR 21 SAC.

2. ALCANCE

Aplica al proceso de mantenimiento del cargador frontal (CSR21-CF-C-01) y Rodillos compactadores (CSR21-RC-C- 01, 02 Y 03)

3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- 3.1 Sistema de información Caterpillar SISCAT
- 3.2 Manual Caterpillar para Cargador Frontal Caterpillar modelo 950 H y Rodillo Compactador Caterpillar modelo x
- 3.3 Registro de Mantenimiento Correctivo de Cargador Frontal modelo 950 H y Rodillos compactadores 01, 02 y 03.

4. RESPONSABILIDADES

- 4.1 **Jefe de Mantenimiento, Supervisor de Mantenimiento:** Hacer cumplir el procedimiento en mención.
- 4.2 **Operador de mantenimiento, Operador de equipo:** Realizar las instrucciones indicadas en el siguiente instructivo.

5. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Tapones auditivos
- Zapatos de seguridad
- Guantes
- Lentes de seguridad

Elaborado por:	Fecha: 05/01/2020	Revisado por:	Fecha: 10/01/2020	Aprobado por:	Fecha: 03/02/2020
Luis Alfredo Lázaro García		Jefe de Mantenimiento CSR 21 SAC		Gerente General CSR 21 SAC	

6. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.

- Caja de herramientas
- Engrasadora neumática.

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

- Gatos elevadores
- Pistola neumática
- Manguera para agua
- Linterna
- Manguera neumática
- Desarmadores

7. DESCRIPCIÓN

A continuación se describen las actividades a realizar para llevar un correcto mantenimiento del cargador frontal y de los compactadores de rodillos, de acuerdo a los procedimientos establecidos por el fabricante (Caterpillar) y de las recomendaciones de mantenimiento surgidas en el comité AMEF de la empresa CSR 21 SAC. Estas actividades son de tipo general; los procedimientos específicos se encuentran detallados en los manuales de mantenimiento Caterpillar para cada equipo.

7.1 Chequeo Diario (Operador de equipo)

- ✓ Verificar ruidos en el motor, arranque y sistema hidráulico.
- ✓ Verificar vibraciones inusuales en el motor, bombas hidráulicas.
- ✓ Verificación de nivel de aceite motor e hidráulico y refrigerante.
- ✓ Inspección visual general

7.2 Chequeo 250 horas. (Operadores de mantenimiento mecánico y eléctrico)

- ✓ Cambio de filtros de combustible primario y secundario.
- ✓ Cambio de filtro de Aceite.
- ✓ Inspección y limpieza de Filtro de aire
- ✓ Lavado de chasis y carrocería

7.3 Chequeo 500 horas. (Operadores de mantenimiento mecánico y eléctrico)

- ✓ Cambio de filtro de aire
- ✓ Cambio de filtros de combustible primario y secundario
- ✓ Inspección y limpieza de tanque de combustible
- ✓ Cambio de filtro de Aceite motor
- ✓ Limpieza externa del motor

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

- ✓ Lavado de chasis y carrocería

7.4 Chequeo 750 horas (Operadores de mantenimiento mecánico y eléctrico)

- ✓ Cambio de filtro de aire
- ✓ Cambio de filtros de combustible primario y secundario
- ✓ Inspección y limpieza de tanque de combustible
- ✓ Cambio de filtro de Aceite motor.
- ✓ Limpieza externa del motor
- ✓ Inspección de aceite hidráulico y recipientes.
- ✓ Cambio de filtro de Aceite hidráulico.
- ✓ Lavado de chasis y carrocería

7.5 Chequeo 1000 horas (Operadores de mantenimiento mecánico y eléctrico)

- ✓ Cambio de filtro de aire
- ✓ Cambio de filtros de combustible primario y secundario
- ✓ Inspección y limpieza de tanque de combustible
- ✓ Cambio de filtro de Aceite motor.
- ✓ Limpieza externa del motor
- ✓ Inspección de aceite hidráulico y recipientes.
- ✓ Cambio de filtro de Aceite hidráulico.
- ✓ Cambio de filtro de Retorno.
- ✓ Cambio del envase de filtro de drenado
- ✓ Revisión arranque
- ✓ Limpieza de inyectores.
- ✓ Lavado de chasis y carrocería

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

8. REGISTROS DE PROBLEMAS (CAUSA Y SOLUCION)

Síntoma	Causa	Solución
Inestabilidad de cilindro de levante	Fisura de bastidor por fatiga	Reforzamiento de bastidor con soldadura
Pin de cucharón flojo	Mal ajuste y desgaste en bocinas	Barrenado y ajuste
Pasador de brazo salido	Operación brusca/Inadecuada inspección	Montar Pasador y ajuste adecuado
No enciende el motor del equipo	Bocinas o Carbones del motor de arranque	Cambio de Bocinas o Carbones del motor de arranque
	Borne o Cable de batería sulfatado	Limpiar o sustituir borne o cable de batería
	Batería dañada	Sustituir batería
	Inyectores Sucios	Limpiar inyectores
	Bomba de combustible	Limpiar o sustituir bomba de combustible
Recalentamiento del motor	Rotura del radiador	Reparación con soldadura del radiador.
	Radiador sucio o tapado	Limpieza interna del radiador
	Nivel bajo de refrigerante	Completar nivel de refrigerante
	Termostato defectuoso	Sustituir termostato
No se mueve el cilindro hidráulico	Válvula solenoide defectuosa	Sustitución de Válvula solenoide.
	Manguera rota o floja en el conector	Ajustar manguera o sustituir si está dañada
	Bomba aceite hidráulico defectuosa	Reparar o sustituir bomba hidráulica
Fuga de aceite por tapa de balancines del motor	Desgaste de empaque de la tapa	Sustitución del empaque del tapa balancines

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

Síntoma	Causa	Solución
Alto consumo de aceite	Inyectores en mal estado	Cambio de Inyectores
Fuga de aceite al sistema combustible	Sellos de inyectores desgastados	Cambio de sellos de inyectores
Sonido extraño del motor	Mal ajuste de conector de inyector	Ajuste de conector
Pérdida de potencia en motor	Filtro de combustible saturado	Cambio de filtro
	Turbo con eje desgastado	Sustituir turbo
	Bomba de combustible dañada	Sustituir bomba de combustible
	Inyectores sucios o dañados	Limpiar o sustituir inyectores.
	Solenoides de inyector inoperativo	Cambio de solenoide
Fuga de aceite	Sobresfuerzo	Soldar la parte fisurada del cilindro
	Resqueadura / Desgaste de mangueras hidráulicas	Sustituir la manguera dañada
	Rotura de tubería o conector	Reparar, sustituir o ajustar tubería o conector
Error en nivel de combustible	Desgaste o sucio en el medidor en el tanque de combustible	Limpieza o sustitución del medidor en el tanque de combustible
Pérdida de potencia en bomba hidráulica	Bobina de válvula sin continuidad	Sustituir válvula de solenoide
	Fuga por los sellos de la bomba	Sustituir sellos
	Fuga por los sellos o conexiones de los cilindros hidráulicos	Sustituir sellos y ajustar conexiones
Descarrilamiento de cadena	Desgaste de rueda guía	Cambio de rueda guía y encarrilamiento
Ruidos en el cilindro	Desgaste de bocinas y guías de rodillos	Reparación y lubricación de bocinas y guías

CSR 21 SAC	INSTRUCTIVO DE TRABAJO	CRS21-PMEC-01-2020
	PLAN DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CRITICOS	
	GERENCIA GENERAL	ÁREA: TALLER
	FECHA DE VIGENCIA: 03/02/2020	VERSIÓN: 01

9. REGISTROS

- CSR21-RDI-CF-C-01 Registro diario de inspección del cargador frontal Caterpillar
- CSR21-RDI-RC-C-01 Registro diario de inspección del Rodillo Compactador Caterpillar 01
- CSR21-RDI-RC-C-02 Registro diario de inspección del Rodillo Compactador Caterpillar 02
- CSR21-RDI-RC-C-03 Registro diario de inspección del Rodillo Compactador Caterpillar 03
- CSR21-RIH-CF-C-01 Registro de inspección por horas trabajadas del cargador frontal Caterpillar
- CSR21-RMPH-RC-C-01 Registro de mantenimiento preventivo por horas trabajadas del Rodillo Compactador Caterpillar 01
- CSR21-RMPH-RC-C-02 Registro de mantenimiento preventivo por horas trabajadas del Rodillo Compactador Caterpillar 02
- CSR21-RMPH-RC-C-03 Registro de mantenimiento preventivo por horas trabajadas del Rodillo Compactador Caterpillar 03
- CSR21-RMCEC-CF-C-01 Registro de mantenimiento correctivo del Cargador frontal Caterpillar 01
- CSR21-RMCEC-RC-C-01 Registro de mantenimiento correctivo del Rodillo Compactador Caterpillar 01
- CSR21-RMCEC-RC-C-02 Registro de mantenimiento correctivo del Rodillo Compactador Caterpillar 02
- CSR21-RMCEC-RC-C-03 Registro de mantenimiento correctivo del Rodillo Compactador Caterpillar 03

Actividad 6. Adquisición de Stock de Repuestos.

Con el fin de disminuir los tiempos de parada y hacer las reparaciones de forma más eficiente se recomendó a la empresa la compra de los repuestos de mayor uso en los equipos críticos de la empresa.

Tabla 32. *Stock de repuestos para los equipos de la empresa CSR 21 S.A.C.*

Equipo	Repuesto	Costo (USD)
Cargador Frontal Caterpillar	Aceite motor 10 gal 15 W40	58.83
	Aceite hidráulico 52 gal, 10w	77.30
	Grasa Caterpillar	210
	Filtro combustible	97.18
	Filtro aire primario	105.60
	Filtro aire secundario	61.17
	Filtro hidráulico	55.09
	Filtro tanque	118.39
	Uñas de cucharón	68.37
	Solenoides bomba	186
	Arrancador	600
	Rodillo Compactador Caterpillar	Aceite motor 8 gal 15 W40
Aceite hidráulico 45 gal, 10w		66.30
Grasa Caterpillar		210
Filtro combustible		78.25
Filtro aire primario		83.90
Filtro aire secundario		52,20
Filtro hidráulico		66.70
Filtro tanque		96.30
Pines y bocinas	600	
Boquilla aspersora	125	
Total USD		3,066.11

Actividad 7. Capacitación al personal

Para cumplir con esta etapa se dictaron tres actividades de formación al personal en las siguientes áreas:

Formación en metodología RCM.

Duración: 16 horas.

Dirigido a: Todo el personal de mantenimiento de la empresa.

Contenido:

- Revisión en profundidad de siete pasos del proceso RCM.
- Utilizar RCM para mejorar la confiabilidad del equipo.
- Modos de falla, efectos y análisis de criticidad (FMECA).
- Mantenimiento basado en condiciones (CBM) y mantenimiento preventivo.
- Optimizar el mantenimiento con diagramas de decisiones e identificar otras soluciones.
- Administrar dispositivos de protección y formular otras estrategias de gestión de fallas.

Formación en mecánica básica.

Duración: 8 horas.

Dirigido a: Todo el personal de mantenimiento de la empresa.

Contenido:

- Normas básicas de seguridad y uso de herramientas.
- Sistemas de batería, carga y arranque.
- Transmisión y frenado.
- Sistema de enfriamiento.
- Lubricación.
- Motor: partes y mantenimiento.

Formación en mantenimiento de partes electrónicas.

Duración: 16 horas.

Dirigido a: Todo el personal de mantenimiento de la empresa.

Contenido:

- Introducción a la electrónica y conocimiento de partes y piezas
- Conceptos básicos, unidades y prácticas digitales
- Comprensión de la corriente y el voltaje
- Pruebas de análisis de circuitos y baterías en serie y en paralelo
- Descifrando los códigos de color de las resistencias y conociendo el condensador
- Inductores y transformadores
- Manipulación de corriente con diodos
- Herramientas y seguridad.

Fase III. Verificar

La verificación se hizo a través de dos mediciones:

- a) Cálculo de los niveles de productividad de los factores posteriores a la implementación.
- b) Cálculo de los indicadores de mantenimiento posteriores a la implementación

Cálculo de los niveles de productividad posteriores a la implementación

Para el cálculo se llevó a cabo las siguientes premisas:

- a) Se hizo una evaluación de un periodo de observación posterior a al plan de mejoras estimado en 6 meses entre los meses de julio y diciembre del año 2020.

- b) Se calcularon las horas efectivas de operación. es decir las horas que los equipos estuvieron bajo contrato de alquiler en el periodo de observación posterior (Ver Tabla 33).

Tabla 33. *Hojas efectivas de operación de los equipos en alquiler en el periodo de observación (julio a diciembre 2019).*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						Total
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
Minicargador CAT 246D (1)	150	136	153	153	164	172	928
Minicargador CAT 246D (2)	145	152	156	147	157	174	931
Cargador Frontal CAT 950N	131	151	146	139	157	169	893
Retroexcavadora CAT	150	165	153	153	164	172	957
Rodillo compactador CAT (1)	151	170	157	140	157	165	940
Rodillo compactador CAT (2)	137	137	156	142	160	163	895
Rodillo compactador CAT (3)	137	137	156	140	155	163	888

- c) Se obtuvo la información de los ingresos estimados de operación en el periodo posterior de implementación. Esto se calculó multiplicando las horas efectivas de operación por el precio de alquiler por hora de cada equipo: Minicargador CAT 246D (USD 18.00/hora), Cargador Frontal CAT 950N (USD 43.00/hora); Retroexcavadora CAT (USD 24.00/hora) y Rodillo compactador CAT (USD 15.00/hora). Ver resultados en Tabla 34.

Tabla 34. *Ingresos estimados de operación en el periodo de observación (julio a diciembre 2020).*

Equipo	Jul.	Ago.	Set	Oct	Nov	Dic	Total
Minicargador CAT 246D (1)	2,700.00	2,448.00	2,754.00	2,754.00	2,952.00	3,096.00	16,704.00
Minicargador CAT 246D (2)	2,610.00	2,736.00	2,808.00	2,646.00	2,826.00	3,132.00	16,758.00
Cargador Frontal CAT 950N	5,633.00	6,493.00	6,278.00	5,977.00	6,751.00	7,267.00	38,399.00
Retroexcavadora CAT	3,600.00	3,960.00	3,672.00	3,672.00	3,936.00	4,128.00	22,968.00
Rodillo compactador CAT (1)	2,265.00	2,550.00	2,355.00	2,100.00	2,355.00	2,475.00	14,100.00
Rodillo compactador CAT (2)	2,055.00	2,055.00	2,340.00	2,130.00	2,400.00	2,445.00	13,425.00
Rodillo compactador CAT (3)	2,055.00	2,055.00	2,340.00	2,100.00	2,325.00	2,445.00	13,320.00
Totales	20,918.00	22,297.00	22,547.00	21,379.00	23,545.00	24,988.00	135,674.00

d) Luego se recopiló la información referente a los costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes.

Tabla 35. *Costos incurridos por fallas de los equipos durante el proceso de alquiler a los clientes (julio a diciembre 2020).*

Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Mano de obra	3,359.20	2,324.57	2,368.22	3,428.50	2,345.04	2,581.16	16,406.69
Gastos de viaje	238.53	435.01	239.42	245.52	237.08	340.73	1,736.29
Materiales	217.36	315.15	218.17	323.72	416.04	219.36	1,709.80
Trabajos externos	415.27	399.14	416.82	427.43	512.62	419.10	2,590.39
Misceláneos	187.54	84.77	288.24	193.03	186.40	248.27	1,188.26
Repuestos	903.13	1,889.45	906.52	1,029.59	897.64	911.47	6,537.80
Total costo adicionales	5,321.03	5,448.09	4,437.39	5,647.79	4,594.82	4,720.09	30,169.21

- e) Esta información permitió determinar los índices de productividad mensual en el periodo de observación, es decir la diferencia entre los ingresos esperados y los recursos que debieron utilizarse para generar esos bienes con la eficiencia esperada por los clientes (Ver Tabla 35).

Tabla 36. *Índices de productividad mensual durante el proceso de alquiler a los clientes posterior a la implementación (julio a diciembre 2020).*

Mes	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Totales
Ingresos Estimados	20,918.00	22,297.00	22,547.00	21,379.00	23,545.00	24,988.00	135,674.00
Costos Operativos	9,434.02	10,055.95	10,168.70	9,641.93	10,618.80	11,269.59	61,188.97
Productividad esperada	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%	45.10%
COSTOS ADICIONALES							
Mano de obra	1,979.45	1,820.50	1,820.50	1,650.50	1,682.50	1,833.50	10,786.95
Gastos de viaje	179.23	183.40	181.60	166.69	179.55	184.13	1,074.60
Materiales	117.36	120.09	118.91	109.15	117.57	120.57	703.65
Trabajos externos	365.00	373.50	369.82	339.47	365.65	374.98	2,188.41
Misceláneos	127.45	130.42	129.13	118.54	127.68	130.93	764.15
Repuestos	603.13	617.18	611.09	560.94	504.20	419.50	3,316.04
Total costo adicionales	3,371.62	3,245.09	3,231.05	2,945.29	2,727.40	3,063.60	18,584.06
% costos adicionales	16.12%	14.55%	14.33%	13.78%	11.58%	12.26%	13.70%
% costo de factores incurridos	61.22%	59.65%	59.43%	58.88%	56.68%	57.36%	58.80%
Índice de costos reales	38.78%	40.35%	40.57%	41.12%	43.32%	42.64%	41.20%
Diferencia	-6.32%	-4.75%	-4.53%	-3.98%	-1.78%	-2.46%	-3.90%

El resultado de la evaluación de los índices de productividad en el periodo julio-diciembre de 2020 arroja un promedio de 41.20% de productividad real, lo cual al compararse con el indicados base de 37.51% de productividad de los equipos en alquiler de la empresa, representa una mejora del 3,39% en la productividad, con lo que se disminuye la brecha entre la productividad esperada y la real en 3.90%

Para determinar la productividad operativa de los equipos posterior a la implementación de los equipos, la cual fue calculada de la comparación entre horas efectivas de operación y las horas de parada por fallas de los equipos en posesión del cliente entre julio y diciembre de 2020 (ver Tabla 37):

Tabla 37. *Cálculo del índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación posterior al plan de mejoras (estado final 2020).*

Equipo	Horas de operación	Tiempos de parada	Índice de productividad
Minicargador CAT 246D (1)	928	48.0	0.948
Minicargador CAT 246D (2)	931	43.0	0.954
Cargador Frontal CAT 950N	893	72.0	0.919
Retroexcavadora CAT	957	41.0	0.957
Rodillo compactador CAT (1)	940	72.5	0.923
Rodillo compactador CAT (2)	895	73.0	0.918
Rodillo compactador CAT (3)	888	73.0	0.918
Totales	6,432.00	422.5	0.934

Estos resultados representan un incremento de la productividad operativa en 6.4% en comparación con la situación inicial, tal como se muestra en la Tabla 38:

Tabla 38. *Variaciones en el índice de productividad operativa de los equipos durante el periodo de observación anterior y posterior al plan de mejoras.*

Descripción	2019-II	2020-II
Horas de operación	6,448.0	6,432.0
Horas de parada	835.5	422.5
Índice de productividad	87.0%	93.4%
Variación		6.4%

Cálculo de indicadores de mantenimiento posteriores a la implementación

Para llevar a cabo el cálculo de indicadores posteriores, se revisaron los registros de mantenimiento posteriores a la aplicación del plan RCM. El proceso de implementación fue llevado a cabo entre los meses de julio y setiembre de 2020, y la medición posterior se hizo entre julio y diciembre de 2020, en el cual se detectaron las horas de operación, la cantidad de fallas y los tiempos de parada para el cálculo de los indicadores:

Tabla 39. *Horas de operación de los equipos de la empresa CSR21 S.A.C. (julio-diciembre 2020)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	150	136	153	153	164	172	928
Minicargador CAT 246D (2)	145	152	156	147	157	174	931
Cargador Frontal CAT 950N	131	151	146	139	157	169	893
Retroexcavadora CAT	150	165	153	153	164	172	957
Rodillo compactador CAT (1)	151	170	157	140	157	165	940
Rodillo compactador CAT (2)	137	137	156	142	160	163	895
Rodillo compactador CAT (3)	137	137	156	140	155	163	888

En la Tabla 40 se indican los números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas:

Tabla 40. *Números de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en número de fallas detectadas (julio-diciembre 2020)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	1	4	2	3	3	1	14
Minicargador CAT 246D (2)	2	3	2	2	3	2	14
Cargador Frontal CAT 950N	3	3	3	4	2	1	16
Retroexcavadora CAT	1	1	2	2	2	2	10
Rodillo compactador CAT (1)	3	2	3	3	2	2	15
Rodillo compactador CAT (2)	3	3	2	4	2	3	17
Rodillo compactador CAT (3)	3	2	2	3	3	2	15

Asimismo, en la Tabla 41 se detallan los tiempos de parada por equipos en el periodo de observación, expresados en horas:

Tabla 41. *Horas de parada por equipos en el periodo de observación (julio-diciembre 2020)*

EQUIPO	PERÍODO DE OBSERVACIÓN						
	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Minicargador CAT 246D (1)	6.0	15.0	7.0	11.0	6.0	3.0	48.0
Minicargador CAT 246D (2)	7.0	11.0	6.0	5.5	7.5	6.0	43.0
Cargador Frontal CAT 950N	11.0	12.0	16.0	21.5	6.0	5.5	72.0
Retroexcavadora CAT	6.0	3.0	11.0	6.0	9.0	6.0	41.0
Rodillo compactador CAT (1)	12.5	9.0	7.5	19.5	15.0	9.0	72.5
Rodillo compactador CAT (2)	13.0	13.0	11.0	11.5	12.0	12.5	73.0
Rodillo compactador CAT (3)	11.5	13.5	10.5	12.5	16.0	9.0	73.0

De esta forma, en la Tabla 42 se presentan los indicadores de mantenimiento de la empresa en el periodo posterior a la implementación del plan:

Tabla 42. *Indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en el mantenimiento de la empresa en el periodo posterior a la implementación del plan.*

Equipo	Horas de operación	Número de fallas	Horas de parada por fallas	Índice de confiabilidad (MTBF)	Índice de mantenibilidad (MTTR)	Índice de disponibilidad
Minicargador CAT 246D (1)	928	14	48.0	61.87	3.43	0.947
Minicargador CAT 246D (2)	931	14	43.0	62.05	3.07	0.953
Cargador Frontal CAT 950N	893	16	72.0	52.50	4.50	0.921
Retroexcavadora CAT	957	10	41.0	87.01	4.10	0.955
Rodillo compactador CAT (1)	940	15	72.5	58.78	4.83	0.924
Rodillo compactador CAT (2)	895	17	73.0	49.72	4.29	0.920
Rodillo compactador CAT (3)	888	15	73.0	55.51	4.87	0.919
Total	6,432	101	423	63.06	4.18	0.938

En la tabla 43 Variaciones en los indicadores de mantenimiento antes y después de la propuesta de mejora:

Tabla 43. *Variaciones en los indicadores de mantenimiento antes y después de la propuesta*

Indicador	Antes	Después	Variación
Índice de confiabilidad (MTBF)	43.64	63.06	44%
Índice de mantenibilidad (MTTR)	4.44	4.18	-5.85%
Índice de disponibilidad	.908	0.938	3.33%

Con los cambios implementados en el mantenimiento preventivo a través del plan RCM se logró:

- a) Un incremento del 44% en la confiabilidad de los equipos al aumentar el tiempo promedio de falla de 43.64 horas hasta 63.06 horas mediante la implementación del análisis de modo de fallas y las hojas de verificación de las actividades de mantenimiento para los equipos que afectaban en mayor grado la productividad.
- b) Una disminución del 5.85% en el tiempo promedio de reparación (de 4.44 a 4.18 horas), al desarrollar los planes de mantenimiento del cargador frontal Caterpillar y el rodillo compactador Caterpillar, así como la capacitación al personal en metodología RCM, mecánica básica y mantenimiento de partes electrónicas.
- c) Un incremento general del índice de disponibilidad del 3.33% (de 0.908 a 0.938), con la implementación del inventario de repuestos esenciales, lo que contribuyó a agilizar los procesos de reparación.

Fase IV. Actuar

En la última fase del ciclo de implementación de mejoras se incluyeron las actividades posteriores a la verificación de los resultados para comprender los alcances de las mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC y asegurar que las acciones implementadas se mantengan en el tiempo. Con este propósito se realizaron las siguientes acciones (Ver Tabla 44):

Tabla 44. *Acciones realizadas en la fase de actuación.*

Acciones	Descripción
Evaluación de las acciones implementadas	La clave para la implementación exitosa de RCM comienza en las etapas de planificación del proceso. al cumplir de manera firme con los pasos establecidos en un modelo previo, que enumera las actividades clave para completar un análisis RCM, los recursos para realizar el análisis y completar las tareas deben identificarse en la fase de racionalización del proceso.
Comunicación de logros y alcances del plan	Si bien la implementación exitosa comienza con la planificación en la fase de planeación, se ejecuta y verifica en la fase de realización. A medida que se asignan y se realizan las tareas identificadas en el análisis, es extremadamente importante comunicar tanto el progreso de la implementación como los resultados que se derivan de la ejecución de la nueva estrategia de mantenimiento. La comunicación del gerente de implementación de RCM en esta fase del proceso es crucial. se propuso la implementación de un informe de resultados.

Acciones	Descripción
Implementación de los AMEF en todos los equipos y maquinarias de la organización.	En vista de los resultados obtenidos con la aplicación del análisis de modo y efecto de fallas la dirección implementó la aplicación de esta herramienta de diagnóstico en todos los equipos y maquinarias de la organización incluyendo aquellos que no pertenecen al proceso de alquiler para contribuir con la toma de decisiones efectivas en relación con las necesidades de mantenimiento.
Promover capacitación continua e incluir el RCM en las actividades del programa de inducción de personal nuevo de la empresa.	La intención es desarrollar competencias que faciliten la continuidad del mantenimiento centrado en la confiabilidad para proporcionar a los operadores de mantenimiento un marco que les permite monitorear, analizar, anticipar y comprender mejor sus activos, con el objetivo de lograr una estrategia de mantenimiento planificada, alcanzable y rentable.

Evaluación de los costos y beneficios de la aplicación de un plan de mejoras basadas en la metodología RCM en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC

Para determinar costos y beneficios, la presentación de la información se hizo de la siguiente manera:

- a) En la Tabla 45 se hizo una proyección del flujo de efectivo en la condición de que no se hubiese implementación; es decir, bajo las condiciones en las cuales la empresa estaba funcionando sin la propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento;

- b) En la tabla 46 se determinó la proyección del flujo de efectivo para los próximos cinco años tomando en cuenta en las mejoras obtenidas con la implementación de la metodología RCM.
- c) En la tabla 47 se calcularon los índices financieros necesarias para determinar el flujo de caja incremental y la relación costo beneficio
- d) En la tabla 48 se calcularon los resultados del tiempo de recuperación de la inversión así como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actualizado neto (VAN).
- e) Para los cálculos se tomaron en cuenta las siguientes premisas: crecimiento interanual de 20% para el primer año y 10% a partir del segundo año, incremento en la productividad post implementación en 6.4%, los costos adicionales por mantenimiento se calculan en 17.39% para el periodo antes de la implementación y 13.7% después de la implementación; los gastos de administración y ventas representan el 1% de las ventas y los gastos generales el 0.5% de los ingresos.
- f) En relación con la Tasa de Descuento (WACC, siglas en inglés de *Weighted Average Cost of Capital*, o costo promedio ponderado de capital), esta representa el costo de capital de una entidad, ya sea una empresa, un fondo de inversión o una persona, por lo que se si puede invertir su capital en algo con una tasa de rendimiento superior al WACC, entonces puede generar un exceso de rendimiento.

Tabla 45. *Determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación*

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS						
Ingresos por ventas		346,932.00	416,318.40	457,950.24	503,745.26	554,119.79
TOTAL INGRESOS		346,932.00	416,318.40	457,950.24	503,745.26	554,119.79
EGRESOS						
Costos operacionales		156,466.33	187,759.60	206,535.56	227,189.11	249,908.03
Costos adicionales por mantenimiento		60,331.47	72,397.77	79,637.55	87,601.30	96,361.43
Gastos de administración y ventas		3,469.32	4,163.18	4,579.50	5,037.45	5,541.20
Gastos generales		1,734.66	2,081.59	2,289.75	2,518.73	2,770.60
TOTAL EGRESOS		222,001.79	266,402.14	293,042.36	322,346.59	354,581.25
Utilidad bruta		124,930.21	149,916.26	164,907.88	181,398.67	199,538.54
Impuesto a la Renta (29.5%)		36,854.41	44,225.30	48,647.83	53,512.61	58,863.87
Utilidad neta		88,075.80	105,690.96	116,260.06	127,886.06	140,674.67
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
Flujo neto económico		88,075.80	105,690.96	116,260.06	127,886.06	140,674.67

Para ser la determinación del flujo de efectivo proyectado sin implementación se toma en cuenta en las estimaciones de los ingresos por venta proyectados por la empresa para el primer año a partir de allí basado en las estimaciones financieras se calcula un incremento en las ventas de 20% en el segundo año y de 10% en los 3 últimos años de la proyección los costos operacionales se estiman en los costos actuales (45.1%), al igual que los costos adicionales por mantenimiento.

En el Anexo 3 se muestra la proyección de flujo de efectivo proyectado después de la implementación se toma en cuenta el incremento de la productividad en 6.4% para que tenga impacto sobre las ventas estimadas con implementación además la reducción de los costos operacionales a 41.2% y la disminución de los costos adicionales por mantenimiento producto de las mejoras realizadas.

En la Tabla 46 se muestra la determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta:

Tabla 46. *Determinación del flujo incremental para obtener el costo y beneficio de la propuesta*
FLUJO DE CAJA INCREMENTAL

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS ADICIONALES		22,203.65	26,644.38	29,308.82	32,239.70	35,463.67
EGRESOS OPERACIONALES (INCREMENTAL) (CON PY-SIN PROY)		-13,809.28	-16,571.14	-18,228.25	-20,051.08	-22,056.18
INVERSIÓN	17,451.00					
FLUJO DE CAJA INCREMENTAL	-17,451.00	36,012.93	43,215.52	47,537.07	52,290.77	57,519.85
TASA DE DESCUENTO (WAAC)	15%					
VAN	136,293.07					
TIR	222%					
B/C	BENEFICIOS	153,744.07				
	COSTOS	17,451.00				
B/C	8.81					

Se observa en la Tabla 46 que la relación costo beneficio de la implementación es de USD 8.81 por cada dólar invertido en la propuesta en un horizonte de cinco años, el Valor Actualizado neto de la propuesta alcanza USD 136,293.07 y la Tasa Interna de Retorno es del 222%, con lo que queda demostrada la factibilidad financiera de la implementación.

Tabla 47. *Determinación del tiempo de retorno de la inversión prevista para la implementación*

PB	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
FLUJO DE CAJA ACTUALIZADO	-17,451.00	31,315.59	32,677.14	31,256.39	29,897.42	28,597.53
FLUJO ACUMULADO		13,864.59				
EN 12 MESES	\$31,316					
EN X MESES	\$17,451					
X	6.687					
PB	TIEMPO DE RECUPERO DE LA INVERSIÓN = 6.68 MESES					

Se observa en la Tabla 47 que el tiempo de recuperación de la propuesta equivale a 6.68 meses, por lo que el flujo de caja actualizado empezaría a mostrar números favorables a partir del séptimo mes de la implementación, ya que la inversión estimada fue de USD 17,451 y los beneficios estimados para el primer año fueron de USD 31,316.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El estudio realizado tuvo como propósito implementar mejoras basadas en la metodología RCM para incrementar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa CSR 21 SAC, del cual se extraen las siguientes conclusiones:

En lo que respecta al primer objetivo específico, se diagnosticó de la situación actual en cuanto a la productividad de los equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC, obtuvo que el nivel de costos incurridos por reparaciones adicionales en los equipos ascendía a 30,169.21, lo que representaba un exceso en el nivel de costos en 17.39%. De igual manera, se detectó que el índice general de productividad operativa durante el periodo de observación previo al plan de mejoras fue de 87%, originado por 835.5 horas de parada en un total de 6,448 horas de operación, lo que indica que existe un 13% de pérdida de la productividad, lo que incide en los resultados financieros de la empresa, la eficiencia de sus procesos de mantenimiento

Luego se procedió a aplicar diversas herramientas de diagnóstico provistas por la ingeniería para determinar los factores que incidían en la baja productividad de la empresa. de esta forma se obtuvo que dichos factores eran los siguientes: Las máquinas no están disponibles en los momentos que se requieren para prestar el servicio; el personal desconoce los procedimientos que se deben aplicar para el mantenimiento de cada equipo.; no se realiza una inspección oportuna de los equipos y máquinas y no se ha brindado capacitación oportuna a los operadores de mantenimiento. Al evaluar las alternativas de solución se

seleccionó la opción de implementar un plan basado en el RCM para mejorar la productividad de los equipos de construcción civil de la empresa.

En cuanto al segundo objetivo específico, la elaboración de un plan operativo de mejoras basadas en la metodología RCM para la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC, se llevó a cabo una adaptación de la metodología mencionada para cumplir con diversas etapas que contribuyeran a mejorar las gestiones de mantenimiento preventivo la disponibilidad de equipo y la productividad de la empresa.

Estas actividades fueron las siguientes: cálculo de indicadores base de equipos; definir las características y los sistemas que contienen el equipo seleccionado; análisis de modo de fallas para los equipos; plan de mantenimiento preventivo basado en RCM; control y seguimiento del plan de mantenimiento, adquisición de stock de repuestos, cálculo de indicadores posteriores de equipos y capacitación al personal. este plan fue diseñado para mejorar la disponibilidad de cuatro equipos de la empresa, tres rodillos compactadores y un cargador frontal, que fueron los equipos diagnosticados con los menores niveles de disponibilidad. Al final de la experiencia se hizo una medición posterior que permitió determinar que la productividad de los equipos aumento de 87% a 93.4%, y la disponibilidad de los equipos aumento de 90.8% a 93.8%.

Además, en cuanto al tercer objetivo específico, se determinaron los costos y beneficios de la implementación de mejoras basadas en la metodología RCM en la gestión de mantenimiento de maquinarias y equipos de construcción civil en la empresa CSR 21 SAC, de lo cual se concluye que con una inversión total de USD 17,451.00 se obtuvo un beneficio de USD 153,744.07 proyectado en un horizonte de 5 años, con lo que se puede

recuperar dicha inversión en 6.68 meses. La TIR se estimó en 222% y en VAN en USD136,293.07.

La limitación principal que se presentó al momento de desarrollar la experiencia profesional fueron las condiciones presentadas específicamente en el primer semestre del año 2020 en el cual se llevó a cabo parte de la experiencia, debido a la situación social y sanitaria prevalente en el país como consecuencia del COVID 19 y la suspensión de las operaciones en la empresa durante un lapso de 75 días lo cual trajo como consecuencia la suspensión de las actividades planeadas para esa fecha. de igual manera el hecho de no haber realizado operaciones durante ese lapso tuvo impacto en el levantamiento de los indicadores por lo que no se permitió hacer una comparación exacta con el año anterior.

Uno de los aportes principales del estudio es la aplicación y desarrollo de indicadores para demostrar de manera cuantitativa el estado en la gestión de mantenimiento antes y después de la implementación de manera tal de poder obtener variaciones en el desempeño del proceso estudiado con el uso de las herramientas que provee RCM en beneficio de la organización que puede ser empleado en empresas similares.

En lo que respecta a las lecciones aprendidas, es importante reconocer que la clave para la implementación exitosa de RCM comienza en las etapas de planificación del proceso. Por ello, al cumplir de manera firme con los pasos establecidos en un modelo previo, que enumera las actividades clave para completar un análisis RCM, los recursos para realizar el análisis y completar las tareas deben identificarse en la fase de planeación del proceso para asegurar una correcta implementación.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la organización el seguimiento y control oportuno para obtener información acerca de la efectividad de las tareas implementadas para el mantenimiento preventivo de los equipos Asimismo extender estas actividades de mantenimiento al resto de los equipos de la organización y no solamente a los incluidos en el plan RCM.
2. De igual manera una vez estabilizada las acciones relacionadas con el mantenimiento preventivo se sugiere ampliar el campo de acción de la gestión de mantenimiento hacia la implementación de modelos más complejos tales como el mantenimiento productivo total que permita incrementar la vida útil y la disponibilidad de los equipos.
3. Tomar en cuenta el factor humano desde el punto de vista del desarrollo de sus habilidades y competencias a partir de programas de formación atendiendo a sus necesidades y que de esta manera puedan contribuir al logro de las metas organizacionales y financieras de la empresa.
4. Compartir la experiencia de la aplicación de herramientas de mejoramiento en otras áreas de la organización, tales como la gestión de materiales, el área financiera o el área de recursos humanos, para crear estrategias integradas de mejora continua

REFERENCIAS

- Alarcón, M. Martínez, F. y Gómez, F. (2021). Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142 (2021), 110841. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>
- Azid, N., Shamsudin, S., Yusoff, M. y Samat, H. (2019). *Materials Science and Engineering*, (2019), 1-14. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/530/1/012050>
- Bangalore, P. y Patriksson, M. (2018). Analysis of SCADA data for early fault detection, with application to the maintenance management of wind turbines. *Renewable Energy*, 115(2018), 521-532. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.073>
- Catelani, M., Ciani, L., Galar, D. y Patrizi, G. (2020). Optimizing maintenance policies for a yaw system using reliability centered maintenance and data-driven condition monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 15 (1) , 1-9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2020.2968160>
- Chen, Y. y Li, H. (2019). Research on Engineering Quality Management Based on PDCA Cycle. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 490 (6), 062033. Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/490/6/062033/meta>

Corrales, L. Lamban, M. Hernández, M. y Royo, J. (2020). Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches.

Applied Sciences, 10 (8), 64-69. Recuperado de:

<https://doi.org/10.3390/app10186469>

Da Silva, E., Sousa, R., de Oliveira, E., Dos Santos, K., Dos Santos, F., Dos Santos, M., Da Rocha, L. y Barbosa, A. (2021). Hospital management: Application of the PDCA cycle as a strategy to combat COVID-19 in urgent and emergency units. *Research, Society and Development*, 10 (1), 37910110652. Recuperado de:

<https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10652>

Dos Reis, M., Godina, R., Pimentel, C., Silva, F. & Matias, J. (2019). A TPM strategy implementation in an automotive production line through loss reduction. *Procedia Manufacturing*. 38 (1). 908-915. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.173>

Espejo, A. (2019). *Gestión del mantenimiento para incrementar la productividad en el área de destilación de la empresa Dcobre – 2017*. (Tesis de grado). Pimentel: Universidad Señor de Sipán. Recuperado de: <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/5649>

Estrada, M. (2017). *Aplicación del mantenimiento productivo total (TPM) para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en la empresa Corporación Logística & Transporte S.A.C., Lima, 2016*. (Tesis de grado). Lima: Universidad César Vallejo.

Recuperado de:

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1479/Estrada_HMY.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Fuentes, M., González, D. Cantú, M. y Praga, R. (2017). RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 3465–3473(2018). Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1402-y>
- Fumagalli, L. Macchi, M. y Giacomini, A. (2017). Orchestration of preventive maintenance interventions. *IFAC-PapersOnLine* 50 (1), 13976-13981. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2417>
- Castillo, A. Medina, J. Gutiérrez, J. y Fernández, L. (2021). Proposal for a maintenance management system in industrial environments based on ISO 9001 and ISO 14001 standard. *Computer Standards & Interfaces* 73 (2021), 103453. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103453>
- Huamán, G. (2019). *Gestión de mantenimiento y calidad del servicio en la Universidad Nacional del Callao, 2018*. (Tesis de maestría). Lima: Universidad César Vallejo. Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/27697/Huaman_LG.pdf?f?sequence=1
- Liu, X., Liu, C., Shi, L., Huang, J., Zhang, H. y Chen, M. (2017). Reading Promotion Practice Based on PDCA Cycle At Huazhong University of Science and Technology Library. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2017 World Conference on Management Science and Human Social Development (MSHSD 2017). Recuperado de: <https://doi.org/10.2991/mshsd-17.2018.78>

- Mwanza B. & Mbohwa, C. (2015) Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company. *Procedia Manufacturing*, 4 (1), 461-470. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.11.063>
- Pezeshkian, A. y Hamidi, N. (2019). Presenting the model in improving maintenance and excellence in organizational culture and reliability in Iran tile and ceramic industries, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 26 (3), 369-382. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JQME-06-2018-0051>
- Quintero y García (2018). Future Maintenance Management in Renewable Energies. En: García Márquez F., Karyotakis A., Papaelias M. (eds) *Renewable Energies*. Springer, Cham. Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45364-4_10
- Quinto, J. (2019). *Aplicación del estudio de tiempos y su relación con la productividad del personal operativo en el área de reparación en una empresa metalmecánica dedicada al mantenimiento de maquinaria pesada – 2018*. (Tesis de grado). Callao: Universidad Nacional del Callao. Recuperado de: http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/4240/QUINTO%20DE%20LA%20CRUZ_POSGRADO_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ren, D. (2016). Reliability centered maintenance for condition based maintenance application on transformation equipment. *Electronics, Electrical Engineering and Information Science*, 2016 (1), 100-105. Recuperado de: https://doi.org/10.1142/9789814740135_0011

- Salah, M., Osman, H. y Hosny, O. (2018). Performance-Based Reliability-Centered Maintenance Planning for Hospital Facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 32 (1), 1-20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001112)
- Sari, M.y Darestani, S. (2019). Fuzzy overall equipment effectiveness and line performance measurement using artificial neural network. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25 (2), 340-354. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JQME-12-2017-0085>
- Señas. E. y Malca, J. (2019). *Evaluación de las principales pérdidas que afectan al OEE de una máquina papelerera modelo Recard, Lima 2018*. Tesis de Grado). Cajamarca: Universidad Privada del Norte. Recuperado de: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21607>
- Shahin, A., Aminsabouri, N. y Kianfar, K. (2018). Developing a Decision-Making Grid for determining proactive maintenance tactics: A case study in the steel industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29 (8), 1296-1315. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2017-0273>
- Shayesteh, E. y Hilber, P. (2018). Maintenance optimization of power systems with renewable energy sources integrated. *Energy*, 149 (1), 577-586. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.066>
- Siregar I., Muchtar, M. y Rahmat, R. (2018). Method of calculation overall equipment effectiveness in fertilizer factory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 308 (1). Recuperado de: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/308/1/012053/meta>

Stecula, K. y Brodny (2016). Application of the Overall Equipment Effectiveness method to improve the effectiveness of the mechanized longwall system's work in the coal exploitation process. *Smart City: A Holistic Approach*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/305443083>

Tang, Y., Liu, Q., Jing, J. Yang, Y. y Zou, Z. (2016). A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. *Energy Journal*, 2016 (1), 1.9. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.011>

ANEXOS

Anexo 1. *Equipos de la empresa*



Minicargador CAT 246D.



Cargador Frontal CAT 950N.



Retroexcavadora CAT.



Rodillo compactador CAT.

Anexo 2. Análisis de Modo y Efectos de Falla del Rodillo Compactador

ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS (AMEF)													
CSR21 S.A.C													
Equipo: <u>Rodillo compactador CAT</u>			Coordinación: <u>Comité RCM</u>			AMEF N°: 1							
Modelo: CS521			Responsable: <u>Jefe de Mantenimiento</u>			Página: <u>1 de 1</u>							
Código: RSC21-RC-C-01			Elaborado por: <u>Luis Alfredo Lázaro García</u>			FECHA AMEF: 5/02/2020				Revisión: 1			
PARTE	MODOS DE FALLO	EFEECTO	S	CAUSA	O	CONTROLES	D	NPR	ACCIONES	S	O	D	NPR
Motor	Filtro Obstruido	Presión aceite baja. Parada del equipo	7	Sucio, polvo	6	Sustitución periódica	5	210	Sustitución programada cada 250 horas de trabajo	7	6	1	42
Rodillo	Eje roto	Parada del equipo	9	Vibraciones, sobrecarga	8	Inspección visual	3	216	Inspección programada cada 1000 horas de trabajo	9	8	2	144
Frenos	Zapata desgastada	Equipo no frena. Parada del equipo	5	Uso, polvo	4	Inspección visual. Aviso del operario	4	80	Inspección programada cada 500 horas.	5	4	2	40
Inyector	Inyector no trabaja	Falla del motor	8	Solenoides abiertos	6	Sustitución	4	192	Inspección programada cada 500 horas	8	6	2	96
Sistema hidráulico	Perdida de aceite hidráulico	Caída de presión en el sistema.	4	Manguera Rota o conector flojo	4	Sustitución o ajuste de la manguera	3	48	Inspección diaria (operador). Ajuste por operador de mantenimiento si es necesario.	4	2	1	8

CSR21 S.A.C

ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS
(AMEF)



Equipo: <u>Rodillo compactador CAT</u>		Coordinación: <u>Comité RCM</u>		AMEF N°: 1									
Modelo: CS521		Responsable: <u>Jefe de Mantenimiento</u>		Página: <u>1 de 1</u>									
Código: RSC21-RC-C-02		Elaborado por: <u>Luis Alfredo Lázaro García</u>		FECHA AMEF: 5/02/2020		Revisión: 1							
PARTE	MODOS DE FALLO	EFEECTO	S	CAUSA	O	CONTROLES	D	NPR	ACCIONES	S	O	D	NPR
Sistema enfriamiento	Sobrecalentamiento	Parada del equipo	8	Radiador obstruido	4	Inspección visual	6	192	Inspección y Limpieza programada cada 2000 horas de trabajo	8	3	1	24
Motor	Filtro Obstruido	Presión aceite baja. Parada del equipo	7	Sucio, polvo	3	Sustitución periódica	5	105	Inspección y sustitución programada cada 250 horas de trabajo	7	3	2	42
Inyectores	Inyector Obstruido	Falla del motor	6	Sucio interno, combustible contaminado	4	Inspección y limpieza periódica	4	96	Inspección y sustitución programada cada 500 horas de trabajo	6	4	2	48
Filtro separación de agua	Filtro Saturado	No retiene el agua. Falla del motor	6	Uso. Combustible contaminado	5	Sustitución periódico	4	120	Inspección y sustitución programada cada 250 horas de trabajo	6	4	2	48
Filtro combustible	Filtro Saturada	Falla del motor. Desgaste de inyectores	6	Uso. Combustible contaminado-	6	Sustitución periódica	4	144	Inspección y sustitución programada cada 250 horas de trabajo	6	4	2	48

CSR21 S.A.C

ANALISIS DE MODO DE FALLAS
(AMEF)



Equipo: <u>Rodillo compactador CAT</u>		Coordinación: <u>Comité RCM</u>		AMEF N°: 1									
Modelo: CS521		Responsable: <u>Jefe de Mantenimiento</u>		Página: <u>1 de 1</u>									
Código: RSC21-RC-C-03		Elaborado por: <u>Luis Alfredo Lázaro García</u>		FECHA AMEF: 5/02/2020		Revisión: 1							
PARTE	MODOS DE FALLO	EFEECTO	S	CAUSA	O	CONTROLES	D	NPR	ACCIONES	S	O	D	NPR
Inyectores	Inyector Obstruido	Falla del motor	6	Sucio interno, combustible contaminado	6	Inspección y limpieza periódica	7	252	Inspección y Limpieza programada cada 500 horas de trabajo	6	5	2	60
Sistema hidráulico	Perdida de aceite hidráulico	Caída de presión en el sistema.	6	Manguera Rota o conector flojo	6	Sustitución o ajuste de la manguera	7	252	Inspección diaria por el operador. Ajuste de la manguera por operario de mantenimiento de ser requerido.	6	4	2	48
Filtro combustible	Filtro Saturada	Falla del motor. Desgaste de inyectores	7	Uso. Combustible contaminado-	7	Sustitución periódica	5	245	Inspección y sustitución programada cada 250 horas de trabajo	7	3	2	42
Bomba hidráulica	Perdida de presión	Desgaste	5	Uso. Aceite contaminado.	8	Inspección. Sustitución	8	320	Inspección cada 1000 horas de trabajo. Sustitución si se requiere.	5	3	2	30
Motor de arranque	No funciona	Equipo no enciende	4	Borne Sulfatado. oxidación	5	Inspección visual. Limpieza o sustitución	4	80	Inspección diaria por el operador del equipo y reparación por parte del operador de mantenimiento eléctrico de ser requerido.	4	2	1	8

Anexo 3. *Determinación del flujo de efectivo proyectado con datos bajo implementación*

FLUJO DE EFECTIVO PROYECTADO CON IMPLEMENTACIÓN						
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS						
Ingresos por ventas		369,135.65	442,962.78	487,259.06	535,984.96	589,583.46
TOTAL INGRESOS		369,135.65	442,962.78	487,259.06	535,984.96	589,583.46
EGRESOS						
Costos operacionales		152,083.89	182,500.66	200,750.73	220,825.80	242,908.38
Costos adicionales por mantenimiento		50,571.58	60,685.90	66,754.49	73,429.94	80,772.93
Gastos de administración y ventas		3,691.36	4,429.63	4,872.59	5,359.85	5,895.83
Gastos generales		1,845.68	2,214.81	2,436.30	2,679.92	2,947.92
TOTAL EGRESOS		208,192.51	249,831.01	274,814.11	302,295.52	332,525.07
Utilidad bruta		160,943.14	193,131.77	212,444.95	233,689.44	257,058.39
Impuesto a la Renta (29.5%)		47,478.23	56,973.87	62,671.26	68,938.39	75,832.22
Utilidad neta		113,464.92	136,157.90	149,773.69	164,751.06	181,226.16
Flujos de inversión		-	-	-	-	-
Flujo neto económico	17,451.00	113,464.92	136,157.90	149,773.69	164,751.06	181,226.16