

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“APLICACIÓN DE RCM EN UNA EMPRESA QUE
BRINDA SERVICIO DE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO PARA MEJORAR EL OEE DE UNA
EMPRESA DEL SECTOR MINERO, LIMA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Aaron Alexander Villena Alvarez

Asesor:

MBA. Rafael Alberto Ortiz Condori
<https://orcid.org/0000-0002-1932-561X>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Erick Humberto Rabanal Chavez	42009981
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Iselli Josylin Murga Gonzalez	44362724
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Jose Antonio Orellana Pardave	41264537
	Nombre y Apellidos	N° DNI

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mi madre, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por sí mismo y también mostrarme el sentido de la paciencia y aplicarlo en la vida.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a mi madre por apoyarme y estar siempre presente.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Realidad problemática	13
1.2 Situación del problema	19
1.3 Formulación del problema.....	24
1.4 Objetivos.....	24
1.5 Hipótesis	25
1.6 Marco teórico.....	25
1.7 Antecedentes.....	28
1.8 Justificación	32
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	34
2.1 Diseño de la investigación.....	34
2.2 Población y muestra	35
2.3 Operacionalización de variables.....	40
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	44
2.5 Procedimiento de recolección de datos	46
2.6 Aspectos éticos	69

CAPÍTULO III. RESULTADOS	70
3.1 Resultados post aplicación de la mejora.....	70
3.2 Resultado comparativo: Antes y después de aplicar la mejora	75
3.3 Evaluación económica.....	80
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	84
4.1 Limitaciones:	84
4.2 Interpretación comparativa:.....	84
4.3 Implicancias.....	85
4.4 Conclusiones.....	86
REFERENCIAS	87
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resultados de la Producción Nacional a marzo 2020.</i>	16
Tabla 2 <i>Empresas de servicios de alquiler de maquinaria pesada, de mantenimiento y mineras con problemas de paradas de máquina.</i>	21
Tabla 3 <i>Listado de tipos de equipos de maquinaria pesada considerado como población.</i>	35
Tabla 4 <i>Matriz de consistencia.</i>	42
Tabla 5 <i>Matriz de operacionalización de variables.</i>	43
Tabla 6 <i>Técnica e instrumentos de recolección de datos.</i>	45
Tabla 7 <i>Cálculo del OEE 2020.</i>	54
Tabla 8 <i>Frecuencias de componentes de fallo en equipos de maquinaria pesada 2018 al 2020.</i>	55
Tabla 9 <i>Paradas por tipo de fallo 2020.</i>	56
Tabla 10 <i>Micro-Paradas por tipo de fallo 2020.</i>	56
Tabla 11 <i>Componentes de fallo en motores.</i>	57
Tabla 12 <i>Matriz AMFE: Modos de fallo por componente de fallo.</i>	58
Tabla 13 <i>Respecto a la afectación al proceso.</i>	59
Tabla 14 <i>Según costo de reparación.</i>	59
Tabla 15 <i>De acuerdo a la afectación de la falla.</i>	60
Tabla 16 <i>Valoración de resultados de niveles de criticidad.</i>	60
Tabla 17 <i>Resultado de análisis de criticidad.</i>	61
Tabla 18 <i>Decisión RCM por componente de fallo crítico.</i>	65
Tabla 19 <i>Programa de mantenimiento propuesto.</i>	66
Tabla 20 <i>Costo anual de mantenimiento RCM.</i>	67
Tabla 21 <i>Costo de aplicación del RCM.</i>	67

Tabla 22	<i>Costos ocultos: Horas de participación de personal en la mejora.</i>	68
Tabla 23	<i>Resumen de inversión.</i>	68
Tabla 24	<i>Paradas y micro paradas por tipo de fallo 2021 - Post mejora.</i>	70
Tabla 25	<i>Cálculo del OEE – Post Mejora.</i>	75
Tabla 26	<i>Cálculo de recuperación de recuperación de pérdida.</i>	81
Tabla 27	<i>Flujo de caja del proyecto.</i>	82
Tabla 28	<i>Determinación del VAN-TIR de la aplicación del RCM.</i>	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Proyectos mineros en el mundo 2020 al 2029.</i>	13
Figura 2. <i>Ranking mundial de producción de estaño 2019.</i>	14
Figura 3. <i>Países de América Latina que tienen mayor expectativa de inversión.</i>	15
Figura 4. <i>Evolución Mensual de la Producción Nacional del año 2017 al 2021.</i>	17
Figura 5. <i>Perú: ranking Latinoamericano y mundial en producción minera.</i>	18
Figura 6. <i>Fallas de equipos de maquinaria pesada 2018-2019-2020.</i>	20
Figura 7. <i>Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE 2020.</i>	22
Figura 8. <i>Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE mensual 2020.</i>	23
Figura 9. <i>Modelo Retroexcavadora.</i>	36
Figura 10. <i>Modelo Excavadora.</i>	37
Figura 11. <i>Modelo Volquete.</i>	38
Figura 12. <i>Partes generales de un motor Diesel.</i>	39
Figura 13. <i>Componentes de fallo del motor.</i>	40
Figura 14. <i>Flujo de procedimiento realizado.</i>	48
Figura 15. <i>Tiempo perdido por parada de equipo 2020.</i>	49
Figura 16. <i>Cálculo del tiempo productivo 2020.</i>	50
Figura 17. <i>Disponibilidad 2020.</i>	51
Figura 18. <i>Capacidad total de producción (CTP) 2020.</i>	51
Figura 19. <i>Rendimiento 2020.</i>	52
Figura 20. <i>Producción conforme 2020.</i>	53
Figura 21. <i>Indicador de Calidad 2020.</i>	53
Figura 22. <i>Pareto de identificación de fallo representativo.</i>	55
Figura 23. <i>Diagrama de decisión RCM.</i>	63

Figura 24. <i>Formato de decisión RCM.</i>	64
Figura 25. <i>Tiempo perdido por parada de equipo (TPP) – Post Mejora.</i>	71
Figura 26. <i>Cálculo del tiempo productivo – Post Mejora.</i>	71
Figura 27. <i>Disponibilidad – Post Mejora.</i>	72
Figura 28. <i>Capacidad total de producción (CTP) – Post Mejora.</i>	73
Figura 29. <i>Rendimiento – Post Mejora.</i>	74
Figura 30. <i>Indicador de Calidad – Post Mejora.</i>	74
Figura 31. <i>Disponibilidad Antes y post mejora.</i>	76
Figura 32. <i>Rendimiento Antes y post mejora.</i>	76
Figura 33. <i>Calidad Antes y post mejora.</i>	77
Figura 34. <i>OEE Antes y post mejora.</i>	77
Figura 35. <i>Resultado comparativo de la Disponibilidad.</i>	78
Figura 36. <i>Resultado comparativo del Rendimiento.</i>	78
Figura 37. <i>Resultado comparativo de la Calidad.</i>	79
Figura 38. <i>Resultado comparativo del OEE.</i>	79
Figura 39. <i>Resultado general de la aplicación del RCM en los indicadores del OEE.</i>	80

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo la aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo para mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) de una empresa del sector minero, Lima 2022. La metodología RCM permite identificar la causa raíz del problema que generan paradas de máquina y dar solución de prevención de fallos; mientras que OEE es un indicador que permite medir la eficiencia general de los equipos integrando indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad.

La metodología empleada fue no experimental, aplicada y descriptiva; la muestra estuvo conformada por 18 equipos de maquinaria pesada, motores Diesel, a los cuales se aplicó la metodología RCM a través del uso de la Matriz AMFE, con el objeto de incrementar el OEE.

Los resultados confirmaron que la aplicación del RCM mejora el OEE en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo. Se llegó a la conclusión de que la aplicación de la metodología RCM incrementa el OEE en 11.47%, logrando con ello ubicar al OEE de 60.89% a 72.36%, con una inversión de \$ 22,866.67, VAN de \$51,315.05 y TIR de 89.86%, se determina que la aplicación del RCM es viable y rentable.

PALABRAS CLAVES: Metodología RCM. OEE, Disponibilidad, Rendimiento, Calidad.

RESUMEN

The objective of this work was the application of Reliability Centered Maintenance (RCM) in a company that provides preventive maintenance service to improve the Equipment Efficiency (OEE) of a company in the mining sector, Lima 2022. The RCM methodology allows identifying the root cause of the problem that generates machine stops and provide a solution to prevent failures; while OEE is an indicator that allows to measure the general efficiency of the equipment integrating indicators of availability, performance and quality.

The methodology used was non-experimental, applied and descriptive; The sample consisted of 18 pieces of heavy machinery, Diesel engines, to which the RCM methodology was applied through the use of the AMFE Matrix, in order to increase the OEE.

The results confirmed that the application of RCM improves the OEE in a company that provides preventive maintenance service. It was concluded that the application of the RCM methodology increases the OEE by 11.47%, thus managing to locate the OEE from 60.89% to 72.36%, with an investment of \$22,866.67, VAN of \$51,315.05 and TIR of 89.86%, determines that the application of RCM is viable and profitable.

KEY WORDS: RCM Methodology. OEE, Availability, Performance, Quality.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

A nivel mundial, el sector minero es uno de los sectores con mayor proyección de crecimiento, es así que se presenta la Figura 1 con la proyección minera para los años 2020 al 2029, en el cual se aprecia que sólo once países a nivel mundial tienen proyecciones de crecimiento minero, liderado por El Reino Unido, con 21.5% en seis proyectos mineros y una inversión de US\$ 12,066 millones, seguido de China con 18.6% y siete proyectos mineros con una inversión de US\$ 10,425 millones, en tercer lugar, se tiene a Canadá con 15.3% en once proyectos mineros con una inversión de US\$ 8,574 millones, Estados Unidos con 12.8% en tres proyectos y US\$ 7,200 millones de inversión, México con 11.6% en tres proyectos y US\$ 6,500 millones de inversión, Perú con 7.7% en seis proyectos y US\$ 4,297 millones de inversión, seguido de Australia con 5.5%, Brasil, Japón, Suiza y Corea con menos de 3.6% (Gálvez, 2021).

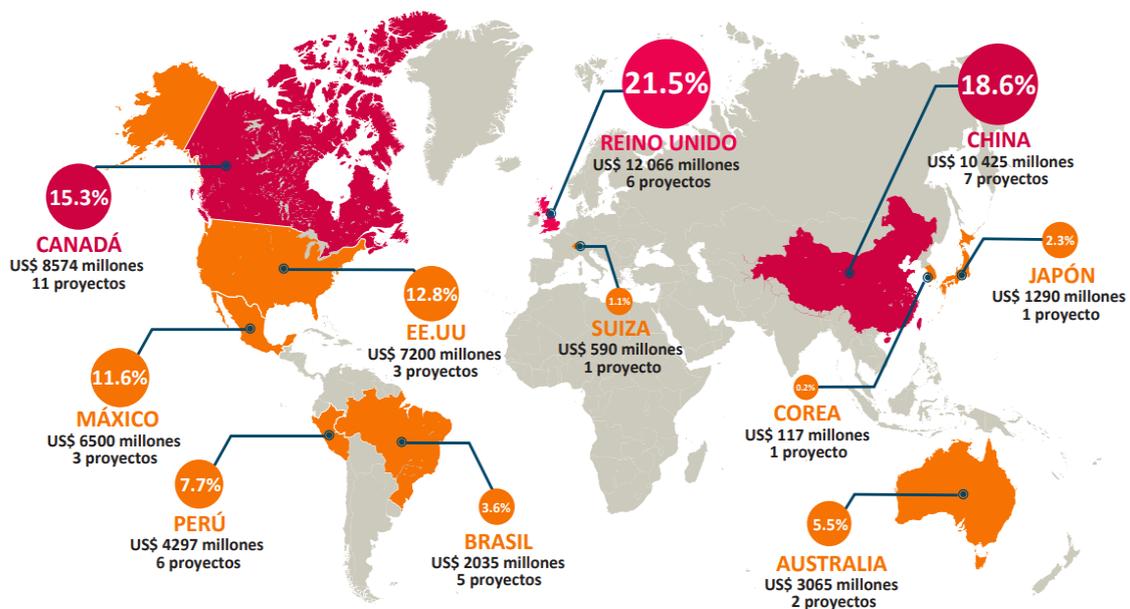


Figura 1. *Proyectos mineros en el mundo 2020 al 2029.*

Nota. Perú ocupa el sexto lugar en inversión para proyectos mineros entre los años 2022 y 2029. Fuente: (Gálvez, 2021, p.12).

Por otro lado, el sector minero destaca por la producción de estaño, el cual se ha

mantenido estable durante los últimos diez años, es así que se presenta la Figura 2 con el ranking de producción de estaño correspondiente al año 2019, donde se observa que China lidera el ranking con 142,900 Toneladas métricas (TM), seguido de Indonesia con 86,400 TM, Myanmar con 33,800 TM, en cuarto lugar, se encuentra Perú con 19,700 TM (Statista, 2022).

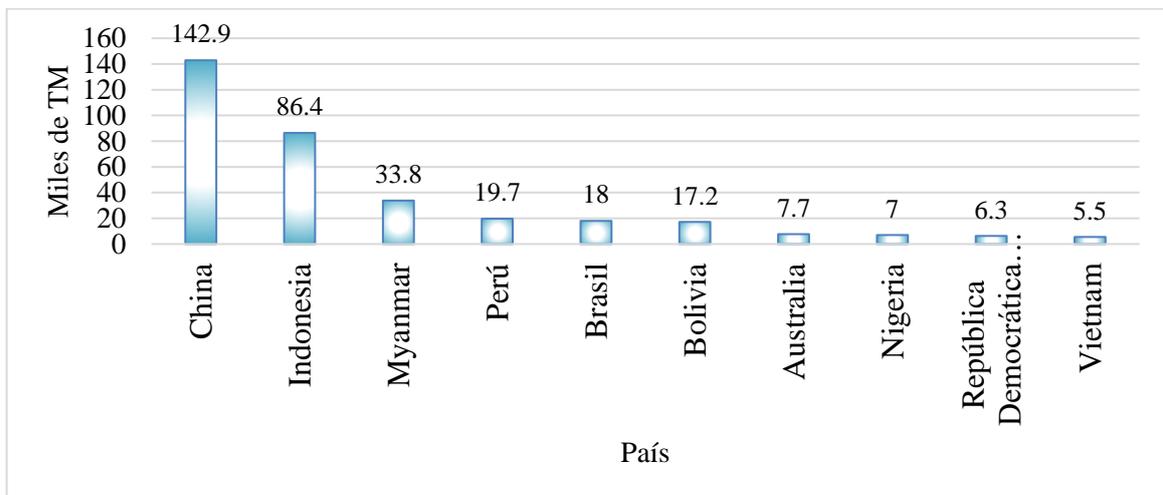


Figura 2. *Ranking mundial de producción de estaño 2019.*

Nota. China lidera el ranking mundial de producción de estaño, mientras que Perú se ubica en el cuarto lugar. Fuente: (Statista, 2022).

De acuerdo a la Figura 2, China tiene una producción que representa el 41.5%, Indonesia 25.1% y Perú 5.7%., mientras que Brasil y Bolivia se encuentran en 5.2% y 5.0% respectivamente, Australia, Nigeria, República Dominicana y Vietnam no superan el 2.2% de producción.

En América Latina el sector minero ha tenido un crecimiento en los últimos años, debido a que se ha convertido en atracción de inversiones mineras, destacando países como Brasil, Perú y Chile, Colombia y Argentina (Santos et al., 2019).

En la Figura 3 se presenta los índices de inversión en minería en América Latina, donde se observa que los países que tienen mejor expectativa en los inversionistas son Colombia, Chile, Perú y Brasil (Statista, 2021).

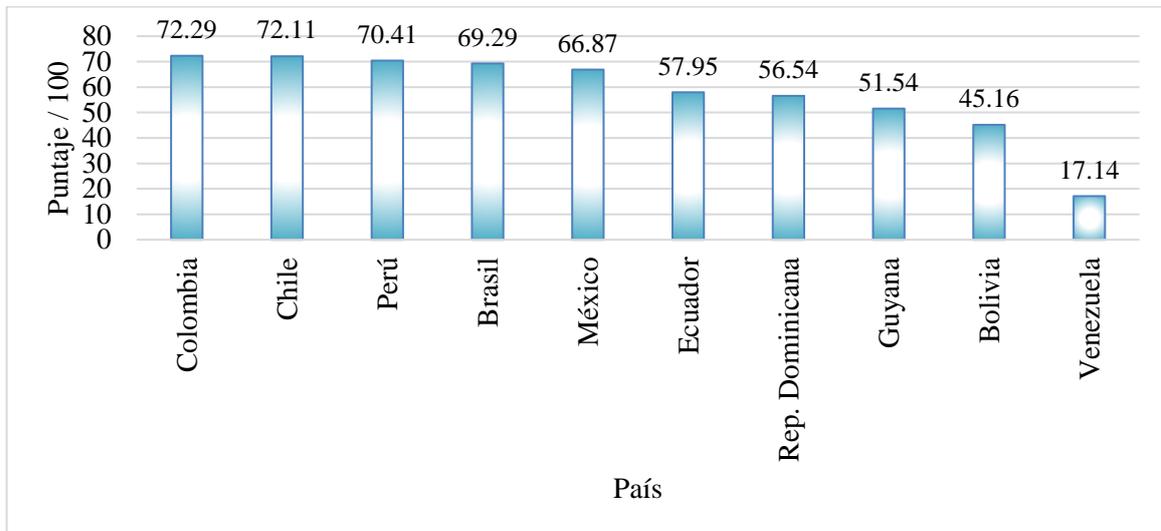


Figura 3. Países de América Latina que tienen mayor expectativa de inversión.

Nota. Se observa que Perú ocupa el tercer lugar en expectativas de inversión para los inversionistas mineros. Fuente: (Statista, 2021).

Por otro lado, el banco mundial y el fondo monetario internacional incrementaron la proyección de crecimiento producto del sector minero en los países de Perú y Chile, aun los efectos pandemia, es así que se estima una proyección de crecimiento para Chile de 3% para el año 2022 y un crecimiento del 3% para el año 2023; mientras que, para Perú, se estima un crecimiento de 8.1% (Salazar, 2021).

El Perú se ubica en el segundo puesto a nivel mundial, como productor de cobre, plata y zinc, en el tercer puesto en la producción de plomo, cuarto en estaño y molibdeno, alcanzando durante el año 2019, la producción de 2'455,440 Toneladas métricas finas (TMF) de cobre, representando 12% de la producción mundial; respecto a la plata, se produjo 3,800 TMF, representando 14%; mientras que, en el caso de zinc, se produjo 402,382 TMF, representando 10% de la producción mundial. A nivel regional, en América Latina, el Perú lidera el ranking en la producción de oro, zinc, plomo y estaño, manteniéndose en el segundo lugar en la producción de cobre, plata y molibdeno. En cuanto a reservas mineras de plata, Perú ocupa el primer lugar con 21.4% del total mundial

(Bnamericas, 2021).

La economía nacional en el mes de octubre del 2021, creció 4.55%, mientras que de enero a octubre 2021 creció en 15.99%, mientras que respecto al año 2020, en el mismo mes tuvo un incremento de 12.72%, el sector minería e hidrocarburos creció en 1.37 en el mes de octubre 2021, mientras que el crecimiento entre los meses de enero y octubre del mismo año fue de 10.65, teniendo en cuenta que en el mismo periodo del año 2020 el crecimiento apenas alcanzó a 7.56%, debido al inicio de la pandemia por Covid-19, en la siguiente tabla se presenta el resumen general de los resultados de la producción nacional obtenidos a marzo del 2021 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

Tabla 1
Resultados de la Producción Nacional a marzo 2020.

Sector	Ponderación 1/	Variación Porcentual		
		2021/2020		Nov 20-Oct 21/
		Octubre	Enero-Octubre	Nov 19-Oct 20
Economía Total	100,00	4,55	15,99	12,72
DI-Otros Impuestos a los Productos	8,29	7,76	22,50	18,55
Total Industrias (Producción)	91,71	4,27	15,43	12,23
Agropecuario	5,97	5,16	2,96	2,51
Pesca	0,74	-33,15	4,92	14,18
Minería e Hidrocarburos	14,36	1,37	10,65	7,56
Manufactura	16,52	0,85	22,09	18,38
Electricidad, Gas y Agua	1,72	3,26	9,80	7,97
Construcción	5,10	-3,10	51,62	43,96
Comercio	10,18	5,14	21,48	16,69
Transporte, Almacenamiento, Correo y Mensajería	4,97	13,31	19,89	11,10
Alojamiento y Restaurantes	2,86	62,11	44,67	18,86
Telecomunicaciones y Otros Servicios de Información	2,66	7,98	8,10	8,25
Financiero y Seguros	3,22	-6,86	8,66	10,77
Servicios Prestados a Empresas	4,24	5,91	17,58	9,87
Administración Pública, Defensa y otros	4,29	3,41	4,30	4,31
Otros Servicios 2/	14,89	8,46	9,32	6,03

Nota. Aunque existe crecimiento en otros sectores como alojamiento y transporte, este se debe a la reactivación económica, teniendo en cuenta que el sector minería e hidrocarburos no se detuvo, se considera positivo que sus indicadores no hayan tenido resultado negativo Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

En la Figura 4, se muestra la evolución de la producción nacional desde el año 2017 al 2021, que indica la variación porcentual, respecto a similar período del año anterior, destacando 4.55% en el último mes de octubre del 2021, además se observa que después de

un año de pandemia la producción se reactivó en el año 2021, superando incluso la producción de años anteriores al año 2020, año que inicia la pandemia por Covid-19 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

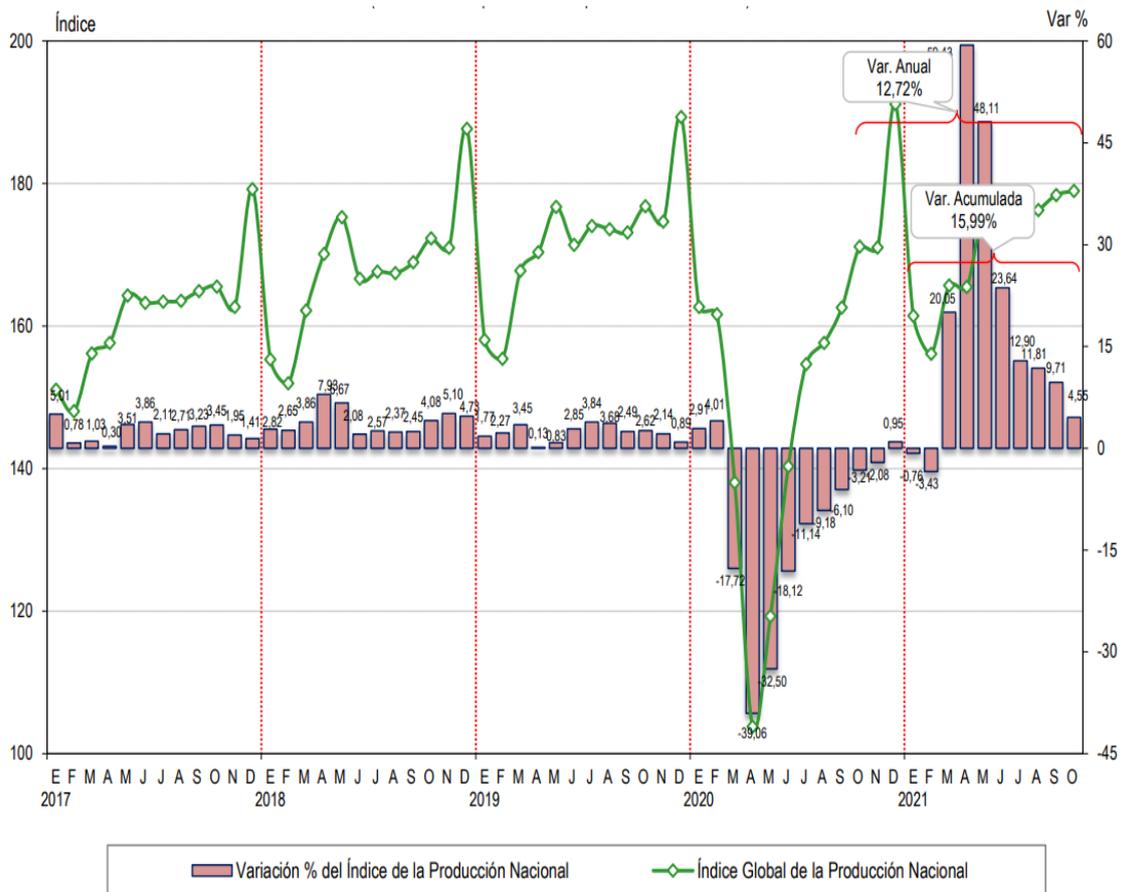


Figura 4. Evolución Mensual de la Producción Nacional del año 2017 al 2021. Nota. Notorio crecimiento de producción mensual durante el año 2021. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

Por otro lado, la posición del Perú de acuerdo al ranking mundial en América Latina en producción minera se encuentra ocupando entre primer y segundo lugar, mientras que en el mundo oscila entre segundo a décimo lugar, ver Figura 5.

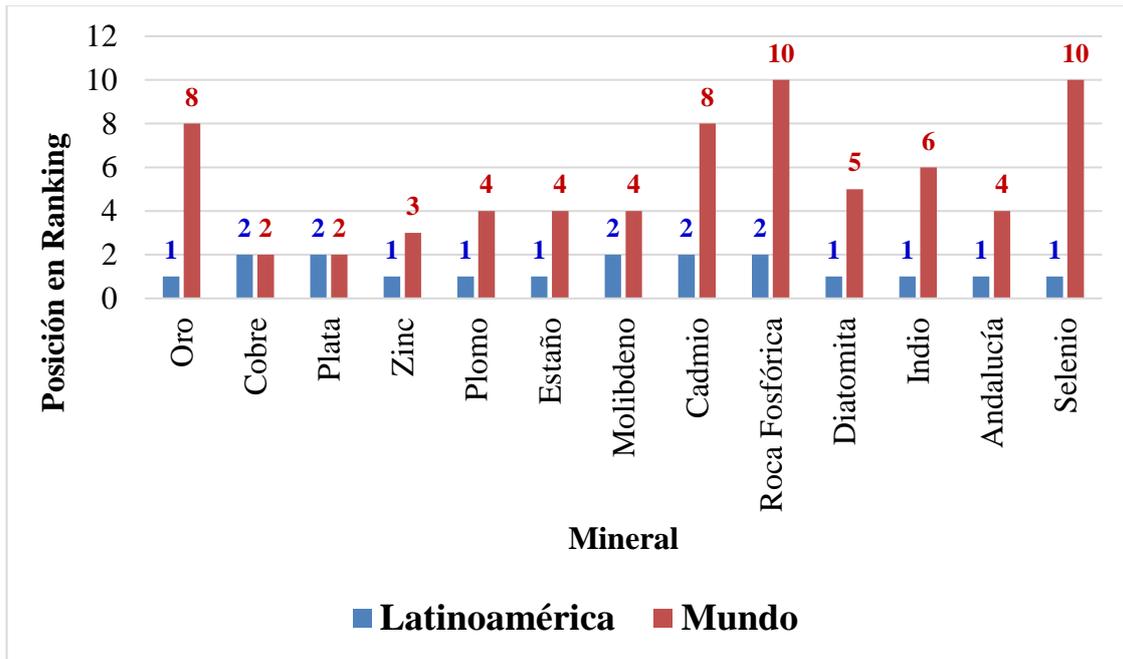


Figura 5. Perú: ranking Latinoamericano y mundial en producción minera.
 Nota. Perú lidera ranking en américa latina. Fuente: (Kishimoto, 2021).

Existe una necesidad de mejorar la capacidad de producción de las empresas, específicamente de las empresas mineras, debido a la necesidad de cumplimiento de producción, por ello en este sector minero es importante la confiabilidad de los equipos para así asegurar la operación minera (Fortuny et al., 2021). Por ello, las empresas mineras están optando por monitorear la disponibilidad de sus equipos y la eficiencia generan que tienen por resultados, más aún cuando las empresas mineras tercerizan el proceso de mantenimiento a sus equipos, debido a que es otro tipo de know how y se requiere enfocar esfuerzos en asuntos propios de la operación minera (Gackowiec et al., 2020).

Por otro lado, las empresas que brindan servicio de mantenimiento tienen la necesidad de pasar de mantenimiento preventivo básico y de atención de correctivos a un tipo efectivo de mantenimiento preventivo, que brinde mayor confiabilidad de los equipos durante la jornada de trabajo, debido a la competencia entre empresas de servicios y por exigencia de las empresas mineras, las cuales buscan producir mayor cantidad de toneladas métricas por jornada (Corrales et al., 2020).

Las empresas mineras cada vez más exigentes para que su producción incremente lleva a las empresas que brindan servicio de mantenimiento en mejorar la calidad de su servicio y a la vez ofrecer propuestas que permitan brindar mayor confiabilidad en el uso de los mismos (Seguridad minera, 2021). El mantenimiento es un aliado para toda área productiva, incluso en la industria minera, donde el costo de beneficio se da en la pureza del mineral (Piechnicki et al., 2017), para lo cual deben entre otras técnicas, lograr que el mineral que se cargue a los procesos de molienda sean la mayor cantidad, es ahí donde se requiere que los equipos ofrezcan mayor confiabilidad, el cual es parte de una buena gestión de mantenimiento, específicamente del mantenimiento preventivo (Seguridad minera, 2021).

Por otro lado, las proyecciones en inversión minera obligan a las empresas que brindan servicio de mantenimiento ser más eficientes en sus servicios y cubrir las expectativas de las empresas mineras, más aún cuando una empresa contratista es vista como un aliado estratégico (Quinde, 2021). Aun cuando Perú se encuentra entre los países con inversión minera en América del Sur, es conocido que la competitividad es un problema en el Perú, ello existe mayor exigencia a la empresa contratista en brindar mejor servicio (IIMP, 2021).

1.2 Situación del problema

Bajo este contexto se tiene información de la experiencia profesional de una empresa que brinda servicio de mantenimiento a equipos de maquinaria pesada de una planta concentradora de una empresa minera; empresa que en los últimos tres años ha tenido un incremento de fallas de sus equipos, las cuales se evidencian en la Figura 6, donde se observa que del año 2018 al 2020 las fallas han ido incrementando, de tal forma que del año 2019 al 2020 incrementaron en 184, equivalente al 27%.

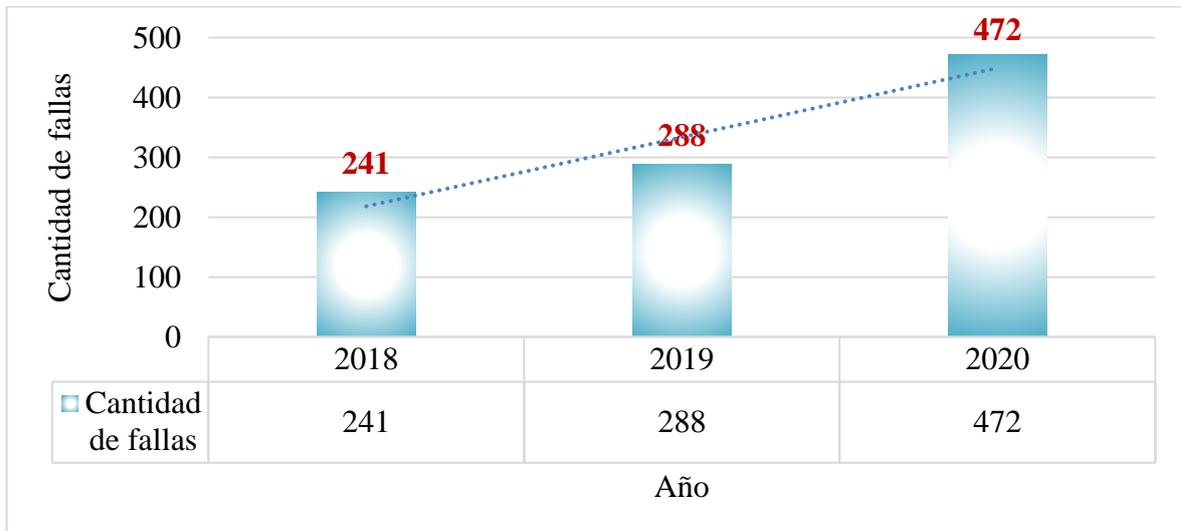


Figura 6. *Fallas de equipos de maquinaria pesada 2018-2019-2020.*

Nota. Incremento de fallas de equipos en una empresa minera.

Este problema de fallas de equipos en empresas mineras es un problema latente, por ello las empresas mineras y las que brindan servicios a empresas mineras con alquiler de equipos o de servicio de mantenimiento buscan minimizar estas paradas con la finalidad de brindar mayor disponibilidad de equipos a la planta minera; en tal sentido, se presenta la Tabla 2 con la recopilación de estudios más relevantes que han tenido problemas de paradas de máquinas por fallos y han visto la necesidad de mejorar la disponibilidad y eficiencia global de sus equipos a través de la aplicación de la Metodología RCM. Es preciso indicar que aun teniendo una disponibilidad de 86%, las empresas mineras buscan mejorar la disponibilidad logrando un máximo de 96.13%. Además, se evidencia que el OEE se encuentra entre 31% y 64.20%, lo cual motiva a implementar RCM para mejorar estos indicadores de eficiencia global de equipos.

Tabla 2

Empresas de servicios de alquiler de maquinaria pesada, de mantenimiento y mineras con problemas de paradas de máquina.

Autor	Empresa	Problema	Metodología	Resultados
Andrade y Ramos (2020)	Minera Chinalco	Baja disponibilidad de equipos y elevados costos de mantenimiento.	RCM	Disponibilidad inicial: 86.9% Disponibilidad final: 90.95%
Puente (2021)	Minera Miskimayo	Paradas de máquina y baja disponibilidad de camiones de maquinaria pesada Komatsu.	RCM TPM	Disponibilidad inicial: 83.9% Disponibilidad final: 90.00%
Mayorca (2019)	Empresa de servicios de mantenimiento	Paradas de máquina y baja disponibilidad de maquinaria pesada.	RCM	Disponibilidad inicial: < 60% Disponibilidad final: 90.00%
Matayoshi y Crippa (2017)	Empresa de servicios de mantenimiento	Paradas de máquina y baja disponibilidad y confiabilidad de equipos.	RCM	Parada de equipo Inicial: 22 veces Parada de equipo final: 9.5 veces
Cárdenas y Rodríguez (2017)	Empresa de servicios de mantenimiento	Paradas de máquina y baja disponibilidad.	RCM	Disponibilidad inicial: 85.00% Disponibilidad final: 96.13%
Lama y Alayo (2021)	Empresa de servicios de mantenimiento	Paradas de máquina y baja disponibilidad de maquinaria pesada.	TPM OEE MPI	Disponibilidad Inicial: 63.92% => Final: 90.00% OEE Inicial: 64.20% => Final: 75.67%
Gallardo (2021)	Empresa de servicios de alquiler de camiones	Maximizar la eficiencia global e equipos	TPM OEE	Rendimiento inicial: 47% OEE Inicial: 31%

Nota. Empresas mineras que aplicaron RCM para mejorar la eficiencia global de sus equipos desde el año 2017. Fuente: (Andrade & Ramos, 2020), (Puente, 2021), (Mayorca, 2019), (Matayoshi & Crippa, 2017), (Cárdenas & Rodríguez, 2017), (Lama & Alayo, 2021) y (Gallardo, 2021).

Por otro lado, se tiene que la disponibilidad de la empresa en estudio en el año 2020 fue de 92.39%, mientras que el rendimiento fue 91.42%, la calidad llegó al 72.09% y el OEE fue de 60.89%, ver Figura 7.

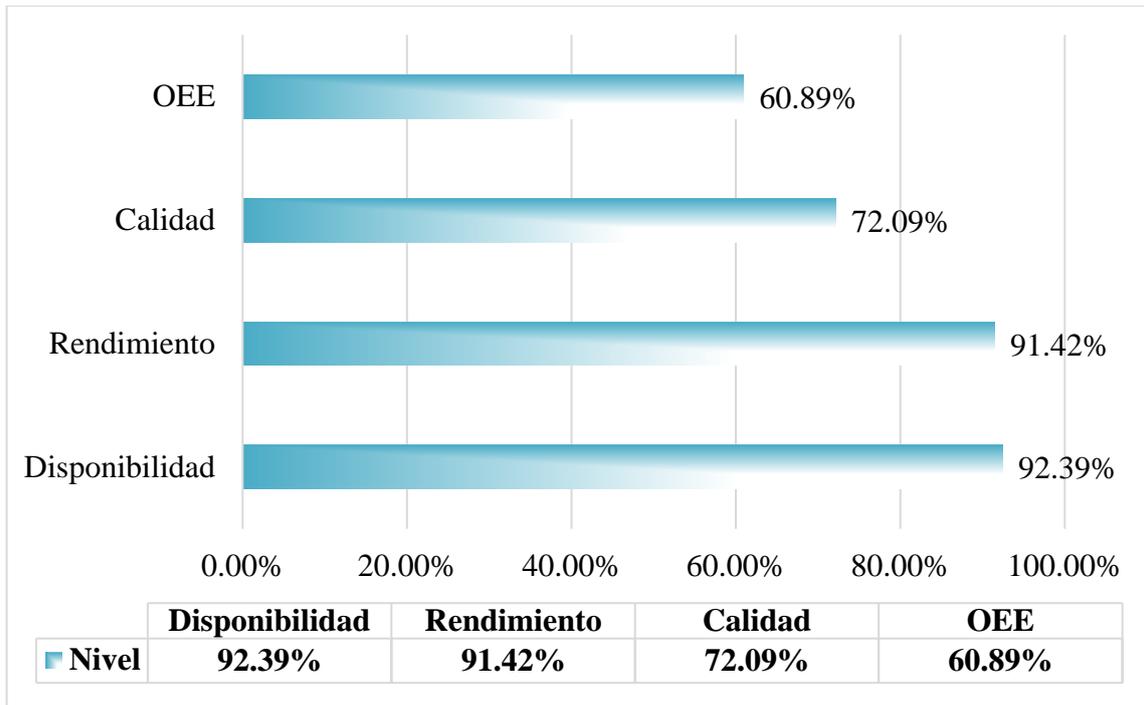


Figura 7. Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE 2020.

Nota. Indicadores 2020 de una empresa minera.

Finalmente se presenta la Figura 8 con la evolución mensual de los indicadores de Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE del año 2020, en el cual se observa una tendencia casi constante por tipo de indicador; donde la disponibilidad fluctúa entre 91.37% y 93.17%, mientras que el rendimiento fluctúa entre 89.88% y 93.14%, la calidad fluctúa entre 70.85% y 73.90%, finalmente se tiene al OEE, indicador que fluctúa entre 59.01% y 62.27%. en el Anexo 1 se presenta la tabla de datos que dan origen a esta figura.

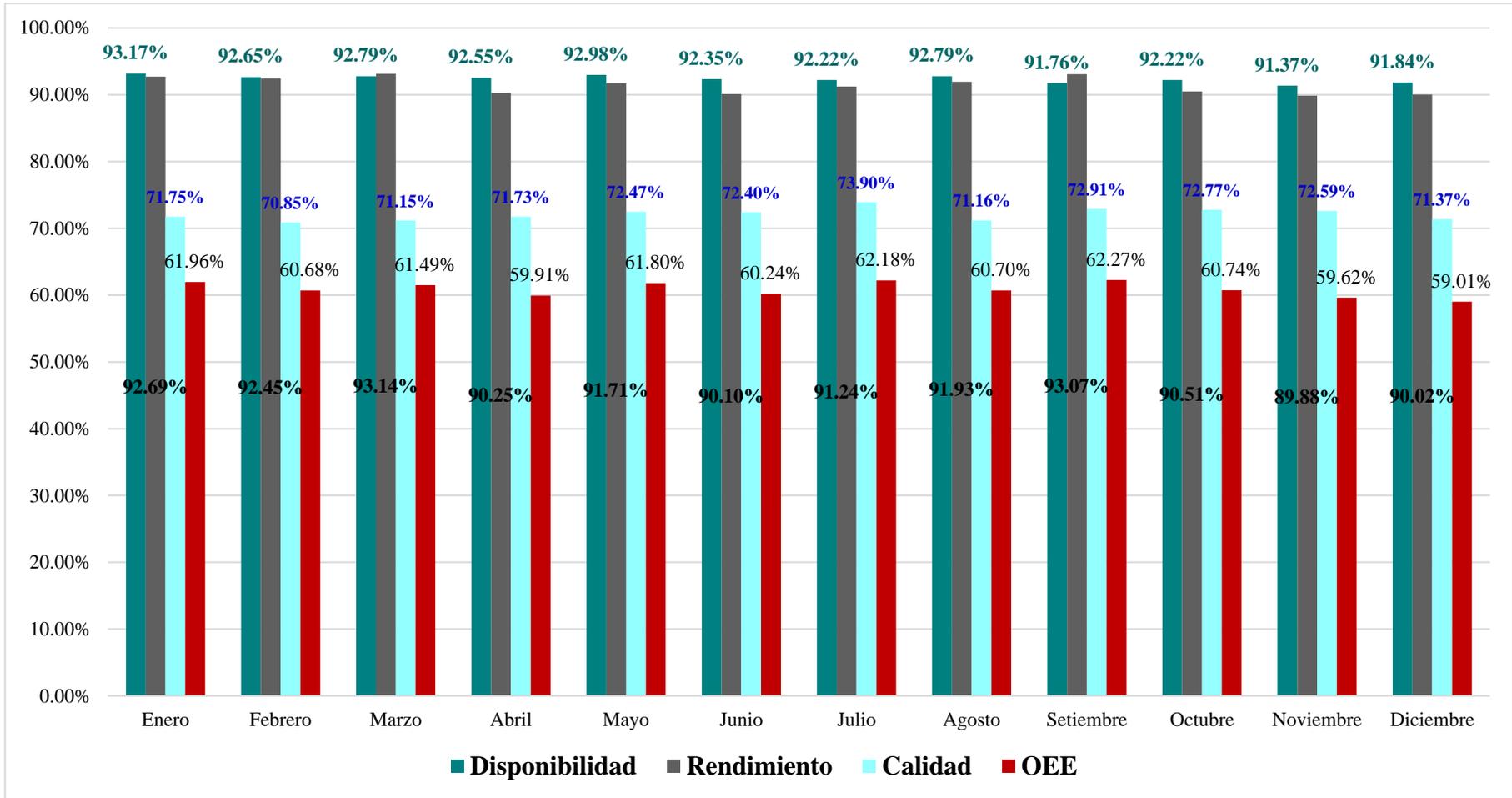


Figura 8. Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE mensual 2020.

Nota. Indicadores 2020 de una empresa minera.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera la aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, permitirá mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cómo se podrá diagnosticar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos?
- ¿De qué manera se podrá determinar los componentes de fallo de equipos que generan las paradas de máquina.?
- ¿Cómo se podrá diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas
- ¿En qué medida se podrá cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Aplicar la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, para mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la situación actual del sector minero en el mantenimiento

preventivo de equipos.

- Determinar los componentes de fallo de equipos que generan paradas de máquina.
- Diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas.
- Cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

La aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, permitirá mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022.

1.4.2 Hipótesis específicas

- A través del diagnóstico se podrá analizar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos.
- Mediante el análisis de modos y fallos se podrá determinar los componentes de fallo de equipos que generan las paradas de máquina.
- Se podrá diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas.
- Se podrá cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM.

1.6 Marco teórico

Metodología RCM

Definido como una técnica que permite gestionar el mantenimiento preventivo basado en la confiabilidad, la cual se le denomina RCM, enfocado al análisis de fallas

funcionales (Fortuny et al., 2021).

Definido como aquella metodología que permite determinar de forma minuciosa la causa raíz de fallos de equipos con el objetivo de minimizar la probabilidad que ocurra un fallo (Piechnicki et al., 2017).

OEE

Definido como el indicador que permite medir la eficacia de máquinas (Piechnicki et al., 2017). También definido como una métrica que permite medir la eficiencia operativa de equipos, evidenciado por un incremento de la capacidad de producción (ACMPEAN, 2021). El OEE se encuentra conformado por los siguientes componentes: Disponibilidad, rendimiento y calidad, donde el resultado de multiplicar estos tres componentes se conoce como OEE, ver a continuación la formula del OEE:

$$\begin{array}{ccc}
 \boxed{\text{Disponibilidad}} & \times & \boxed{\text{Rendimiento}} & \times & \boxed{\text{Calidad}} \\
 \text{(D)} & & \text{(R)} & & \text{(C)} \\
 \hline
 & & \boxed{\text{OEE}} & &
 \end{array} \quad (1)$$

Disponibilidad

Definido como el tiempo que se encuentra operativo uno o un conjunto de equipos que forman parte de un mismo proceso respecto al tiempo programado para que se encuentre en funcionamiento (Camargo, 2021).

También definido como el tiempo real que se tiene para producir en relación al tiempo que se tiene disponible (Amambal & Huatay, 2018).

La disponibilidad se representa a través de la siguiente fórmula:

$$\% D = \frac{TDP - TPP}{TDP} \quad (2)$$

TDP: Tiempo disponible para producir.

TPP: Tiempo perdido para dar inicio a la producción.

Rendimiento

Se define así al indicador que permite medir la razón de tiempo que un equipo o un conjunto de equipos se encuentran funcionando efectivamente en la producción del producto asignado (Gackowiec et al., 2020).

Definido también como el tiempo real que un equipo se encuentra en funcionamiento respecto al tiempo indicado por el fabricante del equipo (Puente, 2021).

El rendimiento se representa a través de la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{\text{PRO}}{\text{CTP}} \quad (3)$$

PRO: Producción real obtenida.

CTP: Capacidad total de producción.

Calidad

Se define como así a la calificación que se asigna a un producto en base a un estándar previamente definido para la obtención del mismo producto (Andrade & Ramos, 2020).

Definido también como la cantidad de unidades producidas y calificadas como buenas respecto a la cantidad total de piezas producidas en un mismo tiempo y proceso (Corrales et al., 2020).

La calidad se representa a través de la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{\text{PC}}{\text{PT}} \quad (4)$$

PC: Producción conforme

PT: Producción total

Ante el problema descrito de paradas de equipo, baja disponibilidad y baja eficiencia global de equipos, se hace necesario tomar acciones correctivas para minimizar las paradas de máquinas e incrementar el OEE de la empresa minera en análisis.

1.7 Antecedentes

A continuación, se presenta los antecedentes nacionales e internacionales que refuerzan el sustento de aplicar RCM para mejorar el OEE en una empresa del sector minero.

1.7.1 Antecedentes Nacionales

Chacaliaza y Estela (2021) realizaron una investigación en el que aplicaron RCM con la finalidad de incrementar la disponibilidad de equipos en una empresa minera, para lo cual utilizó una metodología aplicada, correlacional, cuantitativa, no experimental, en una población de 15 equipos, de los cuales utilizó como muestra tres equipos por ser los críticos según el análisis realizado por los autores. Entre los principales resultados a los que llegaron los autores se tiene: incremento de la disponibilidad de 84% a 94%, es decir obtuvieron 10% de mejora y un análisis económico positivo para la aplicación del RCM, el cual tuvo una inversión anual de S/. 36,576.00, un VAN de S/. 74,473.17 con un TIR de 66.9%.

Así mismo, Padilla (2020) aplica un plan de mejora en el mantenimiento de equipos mineros tomando como base el RCM, para lo cual aplicó la siguiente metodología: Seleccionó el equipo crítico para aplicar RCM, luego procedió a analizar los modos de fallos de estos equipos, seguidamente procedió a identificar cuáles fueron las causas que ocasionaban las fallas, seguidamente procedió a analizar la problemática, seleccionó las tácticas a seguir y realizó la implementación del RCM, finalmente realizó una evaluación económica con el objetivo de medir el impacto de la aplicación del RCM. Entre los principales resultados del autor se tiene: logró incrementar la confiabilidad de los equipos en 43.02%, con lo cual obtuvo una mejora de la disponibilidad, llegando a 96.09%, además logró mejorar la eficiencia global de los equipos en 9.02%, finalmente realizó una evaluación económica, el cual dio un benéfico de \$ 6.00 por cada dólar invertido.

Del mismo modo Andrade y Ramos (2020) realizaron una propuesta para mejorar la gestión de mantenimiento de equipos en una empresa minera mediante la aplicación de RCM, para lo cual plantearon y siguieron la siguiente metodología: Primero definieron el equipo de trabajo, luego analizaron y determinaron la máquina a analizar y a aplicar RCM, luego analizaron los componentes de fallo del equipo seleccionado, con lo cual finalmente realizaron la propuesta de mejora basado en un plan de mantenimiento. Lograron validar la propuesta, la dio por resultado una mejora de 3.95% en disponibilidad de equipos, logrando minimizar 50 horas al año de paradas de máquina, y una rentabilidad de 1.17 en un periodo de 2.72 años.

Puente (2021) también realizó una propuesta de plan de mantenimiento basado en RCM y TPM con el objetivo de mejorar la disponibilidad de equipos de maquinaria pesada en una empresa minera, para lo cual el autor siguió los siguientes pasos: Primero capacitaron a todo el personal involucrado, luego procedió a identificar los componentes de fallos, para luego determinar sus funciones principales, seguido de identificación e fallas, efectos y consecuencias de las mismas, luego determinó formas de prevenir cada falla, finalmente elaboró e implementó el plan propuesto, transcurrido un tiempo procedió a realizar una pre auditoría y finalmente una auditoria, con la finalidad de asegurar que se cumpla el plan en mayor porcentaje. El autor logró por resultado mejorar la disponibilidad de equipos en 6.1%, pasando de 83.9% a 90.00%, con un VAN mayor a cero y un TIR de 331%

Barsallo (2020) propone mejorar la gestión de mantenimiento mediante la utilización del RCM con el objetivo de mejorar la eficiencia de equipos de una empresa que brinda servicio logístico a empresas mineras. Realiza la siguiente metodología mediante un método cuantitativo, aplicado procede a analizar la criticidad de equipos mediante la matriz AMFE, con énfasis en equipos de maquinaria pesada, específicamente

los motores, además de un análisis de capacidades y capacitación a los técnicos con el fin de mejorar sus habilidades en la atención de los equipos. Entre los principales resultados que llega el autor se tiene que logró mejorar la eficiencia global de equipos en 9%, pasando de 59% a 68%, con una disponibilidad de 92%, mientras que el rendimiento llegó a 78%, la calidad llegó a mejorar hasta el 82%, mejoras obtenidas con un beneficio costo de un sol.

1.7.2 Antecedentes internacionales

Gastelo (2017), propone mejorar la eficiencia global de equipos de maquinaria pesada, debido a las constantes paradas de máquina por fallos producto de un mantenimiento preventivo deficiente, ocasionando pérdidas de producción en productos defectuosos y baja disponibilidad de los equipos, generando altos costos por horas extras y mayor consumo de energía eléctrica, restando competitividad ante la competencia y generando malestar en sus clientes, motivo por el cual implementa un plan de mantenimiento preventivo analizando los modos de fallos más críticos de los equipos, el cual es contrastado con el indicador OEE, por medio del cual le permite verificar que los resultados sean positivos para la empresa, logrando minimizar siete horas de paradas de máquina mensual. El autor concluye que aplicar una gestión de mantenimiento medido por el OEE permite monitorear la disponibilidad de equipos, rendimiento y calidad, tres frentes fundamentales que le permitieron minimizar siete horas de para de máquina (Castelo, 2017).

Por otro lado, Maya (2018) aplica RCM para lograr implementar un programa de mantenimiento más eficaz en prevención de fallas, debido a que el programa de mantenimiento convencional no contribuía en la predicción de fallos, ocasionando paradas de máquina y sobre costos por mantenimientos programados poco eficientes, en vista de

ello, el autor decide aplicar RCM porque identifica el modo de fallo a tratar para evitar que ocurra una parada de máquina, para lo cual propone un modelo informático, mediante el cual logró tener trazabilidad del comportamiento de los fallos, así como un mejor control de los mantenimientos realizados y su efectividad en la disponibilidad de los equipos, logrando por resultados, mejorar la disponibilidad de equipos en 8%, pasando de 85% a 93%.

En la investigación realizada por Anaya (2020), ante la necesidad de minimizar las horas de paradas de equipos e incrementar la disponibilidad, utiliza el análisis de modo de falla a través de una propuesta de un diseño de un sistema de mantenimiento productivo total TPM, para lo cual primero realiza un análisis de la situación actual, identifica los equipos críticos y diseña el plan de mantenimiento. El autor llegó a los siguientes resultados: Proyecta una mejora de disponibilidad al 86% con un costo de mantenimiento promedio de \$ 225,000.000 (Moneda colombiana).

Díaz (2017) aplica RCM en equipos mineros con el objetivo de reducir el tiempo y la cantidad de paradas de máquina ocasionadas por fallas intempestivas durante el proceso de producción; para tal fin analizó las fichas técnicas de trece equipos con los cuales operaba la empresa minera, identificando cuatro puntos críticos a los cuales aplicó RCM identificando las fallas funcionales, los modos de fallo y dando solución a las fallas funcionales mediante la matriz AMEF. Logrando por resultados, el debido control de los activos de la empresa desde el punto de vista administrativo: orden, control, actualización de órdenes de trabajo, asegurando stock de repuesto en los almacenes, dado que las paradas de máquinas, no sólo se prolongaban por la necesidad de reparar la falla, sino por la demora en la búsqueda del ítem requerido por mantenimiento, además de incorporar políticas para la atención de órdenes de servicio, las cuales debían ser monitoreadas por el almacén y dar de baja sólo cuando el servicio se haya concluido.

Así mismo, Morales (2019) aplicó RCM con el objetivo de minimizar la cantidad de paradas de máquina en una empresa minera, así mejorar su nivel de competitividad a través de la mejora de la disponibilidad, para lo cual el RCM le permitió identificar los modos de fallos que generaban el problema de paros, permitiéndole generar la estrategia respectiva para mitigar cada tipo de fallo, donde los fallos más resaltaban fueron el chancado de pebbles, el molino de bolas, las baterías, y los motores, entre otros, siendo el motor uno de los componentes más críticos, dado que una falla del motor repercute en fallas en cualquier otra parte del sistema del equipo. Entre los principales resultados a los que llegó el autor, se rescatan los siguientes: logró minimizar las fallas de 68 a 23 fallas, y con ello logró minimizar las paradas de máquina, logrando así mejorar la disponibilidad de los equipos de 86.89% a 93.39%, que a pesar de un costo anual de \$ 1,942.676 obtuvo una mejora económica de \$ 2,521.006.

1.8 Justificación

Existe importancia en que las empresas que brindan servicio de mantenimiento preventivo logren mejorar indicadores de gestión de las empresas clientes para que contribuyan al logro de objetivos de la empresa cliente y sean más competitivas, incluso si se trata de un servicio de mantenimiento interno, es decir propio de una empresa productiva; en ese sentido, es así que se tiene a la metodología RCM, el cual permite identificar la causa raíz del problema que generan paradas de máquina y dar solución que permitan prever el fallo, minimizando así la ocurrencia de fallo; así como el OEE, el cual es un indicador permite medir la eficiencia general de los equipos integrando indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Así mismo, se justifica porque brinda un aporte basado en el conocimiento en la relación que existe entre ambos: Metodología RCM y OEE, relación que puede ser

utilizado para otras empresas e incluso en futuras investigaciones que requieran mejorar la eficiencia general de los equipos a través de la aplicación de la metodología RCM.

Metodológicamente se justifica porque se describirá la aplicación de los siete pasos de la metodología RCM en una empresa de servicio de mantenimiento preventivo orientado al sector minero.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Diseño de la investigación

El presente estudio es no experimental, porque no se realizará ningún tipo de experimento, es decir no se manipulará ninguna de las variables en estudio; en ese sentido Hernández et al., (2014) indica que los estudios no experimentales no se manipula ninguna variable porque no se requiere ver efecto en otra variable porque no se requiere observar resultados.

Además este estudio es transversal porque se toma datos en un momento específico, el cual se da al recopilar información antes que se ejecute la aplicación del RCM en los estudios revisados. Es así que Baena (2017) indica que los estudios transversales se denominan así porque la toma de datos se realiza una sola vez.

2.1.1 Tipo de investigación

Este estudio es aplicada, debido a que se considera como base fuentes básicas existentes y sobre el análisis de los mismos se busca dar soluciones de forma práctica, en ese sentido Gallardo (2017) indica que las investigaciones aplicadas persiguen dar solución a problemas específicos, es así que este estudio da importancia en buscar una solución en mejorar el OEE a través de una propuesta de aplicación del RCM.

2.1.2 Nivel de investigación

De acuerdo al nivel, este estudio es descriptivo porque se busca analizar la aplicación del RCM en sus siete pasos describiendo cada uno de ellos de acuerdo a la mejora que se requiere diseñar en el servicio de mantenimiento de equipos de maquinaria pesada para lograr mejorar el OEE. De acuerdo a Hernández et al., (2014) considera como nivel descriptivo de una investigación cuando un estudio busca analizar el efecto de una variable sobre otra en sus diferentes propiedades y características.

2.1.3 Unidad de estudio

Para el presente estudio se considera como unidad de estudio al área de mantenimiento en una empresa que brinda este tipo de servicio para empresas del sector minero.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

La población se encuentra constituida por dieciocho equipos de maquinaria pesada de una empresa, correspondiente al sector minero (Minería metálica), la cual se encuentra ubicado al Sur del Perú. La población corresponde a equipos asignados a la empresa contratista en estudio al año 2020, las cuales se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3

Listado de tipos de equipos de maquinaria pesada considerado como población.

Equipo	Cantidad
Retroexcavadora	5
Excavadora	6
Volquete	7
Total	18

Nota. Equipos de maquinaria pesada. Fuente: Elaboración propia.

A continuación se describe cada uno de los equipos que conforman la población en estudio:

Retroexcavadora

Las retroexcavadoras han sido diseñadas para uso de excavación, conocido como tal a realizado de zanjas, excavar el suelo, realiza movimiento de arriba y abajo, adelante y atrás, de fácil movilización. En la Figura 9 se presenta un modelo de retroexcavadora que

se encuentra a cargo de la empresa en estudio.



Figura 9. *Modelo Retroexcavadora.*

Nota. Modelo general de retroexcavadora que opera en una industria minera (KOMATSU, 2023).

Excavadora

Las excavadoras también han sido diseñadas para realizar excavación, a diferencia de las retroexcavadoras, las excavadoras tienen mayor capacidad de manejo de carga, además tienen mayor radio de maniobra dado que este equipo puede girar 360°. En la Figura 10 se presenta un modelo de excavadora que se encuentra a cargo de la empresa en estudio.



Figura 10. *Modelo Excavadora.*

Nota. Modelo general de excavadora que opera en una industria minera (KOMATSU, 2023).

Volquete

El volquete es una maquinaria pesada que se utiliza en el sector minero para almacenar y transportar carga, donde la carga que transporta es material para el proceso de chancado, donde se procede a realizar la separación del mineral por medio de procesos de chancado primario y secundario, las capacidades de carga varían de 17 y 24 metros cúbicos.

En la Figura 11 se presenta un modelo de volquete que se encuentra a cargo de la empresa en estudio.



Figura 11. *Modelo Volquete.*

Nota. Modelo general de volquete que opera en una industria minera (KOMATSU, 2020, p.7).

Dado que existen diferentes tipos de motores, de acuerdo a la adquisición de la maquinaria pesada adquirida en su momento, es que no se tiene un estándar de diseño de motor por tipo de maquinaria pesada (retroexcavadora, excavadora o volquete), menos un motor común entre ellas, sin embargo existe un problema común de fallos en motores, tal como se evidencia en el Diagrama de Pareto de la Figura 20.

Se puede decir que la característica común en los tres equipos de maquinaria pesada descritos, es que todos los que operan en la empresa trabajan con combustión interna; es decir el mecanismo del motor se encuentra diseñado de tal forma que transforma la energía térmica que produce el Diesel en energía mecánica, también conocido como cinética (p.4).

Teniendo en cuenta la explicación dada, se presenta el diseño de un motor con sus principales partes, es preciso indicar que los equipos de maquinaria pesada que operan en la empresa en estudio son de Diesel, por tanto se presenta en la Figura 12 un modelo de

motor Diesel, donde se identifican las principales de este motor: Árbol de levas, válvulas, engranajes de transmisión, caja de cambios, biela, cigüeñal, cárter y eje de transmisión de movimiento.

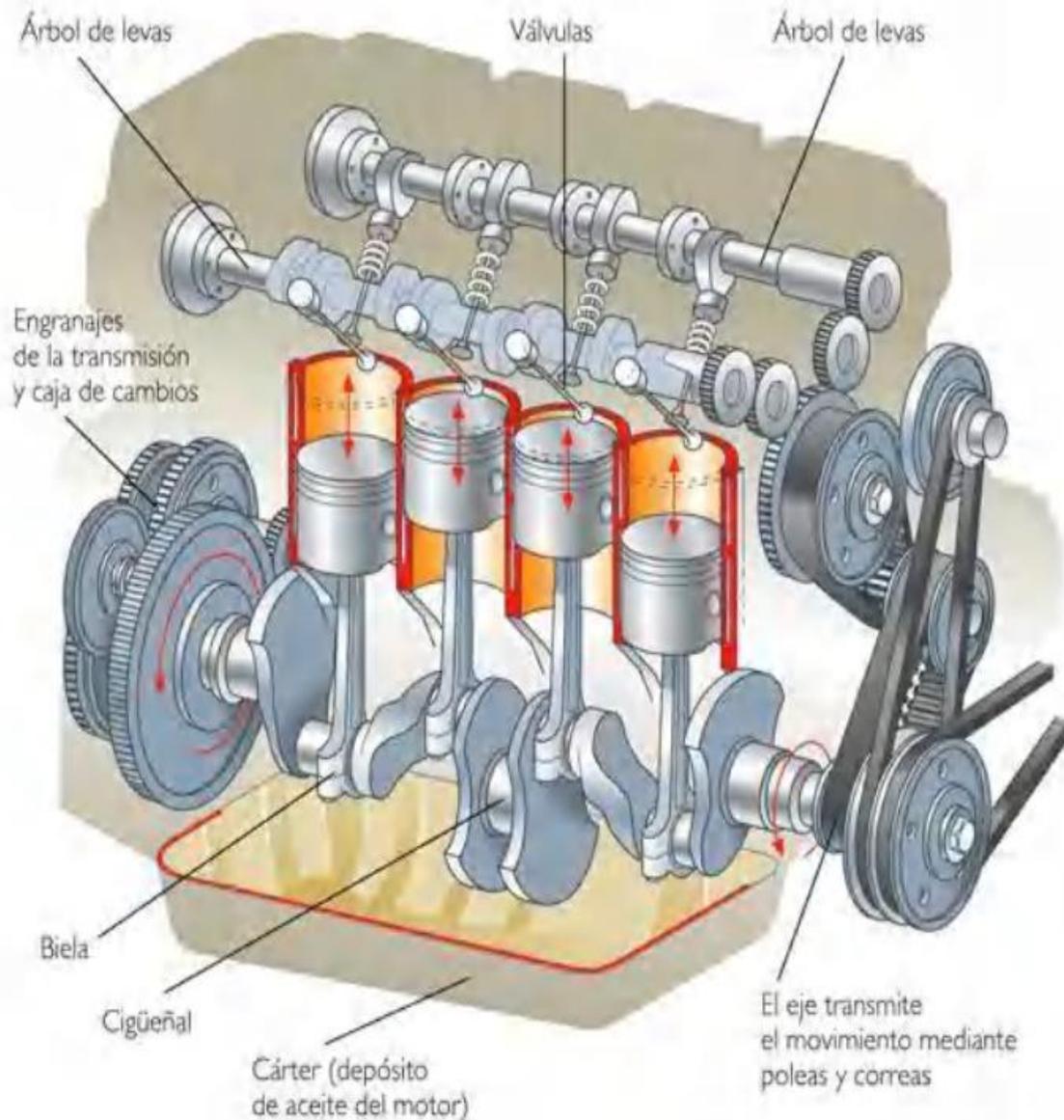


Figura 12. *Partes generales de un motor Diesel.*

Nota. Modelo general de motor Diesel que opera en una industria minera (Chillitupa, 2018, p.10).

De la Figura 12 se tiene los siguientes componentes de fallo que se analizan en la Tabla 11. Ver Figura 13.

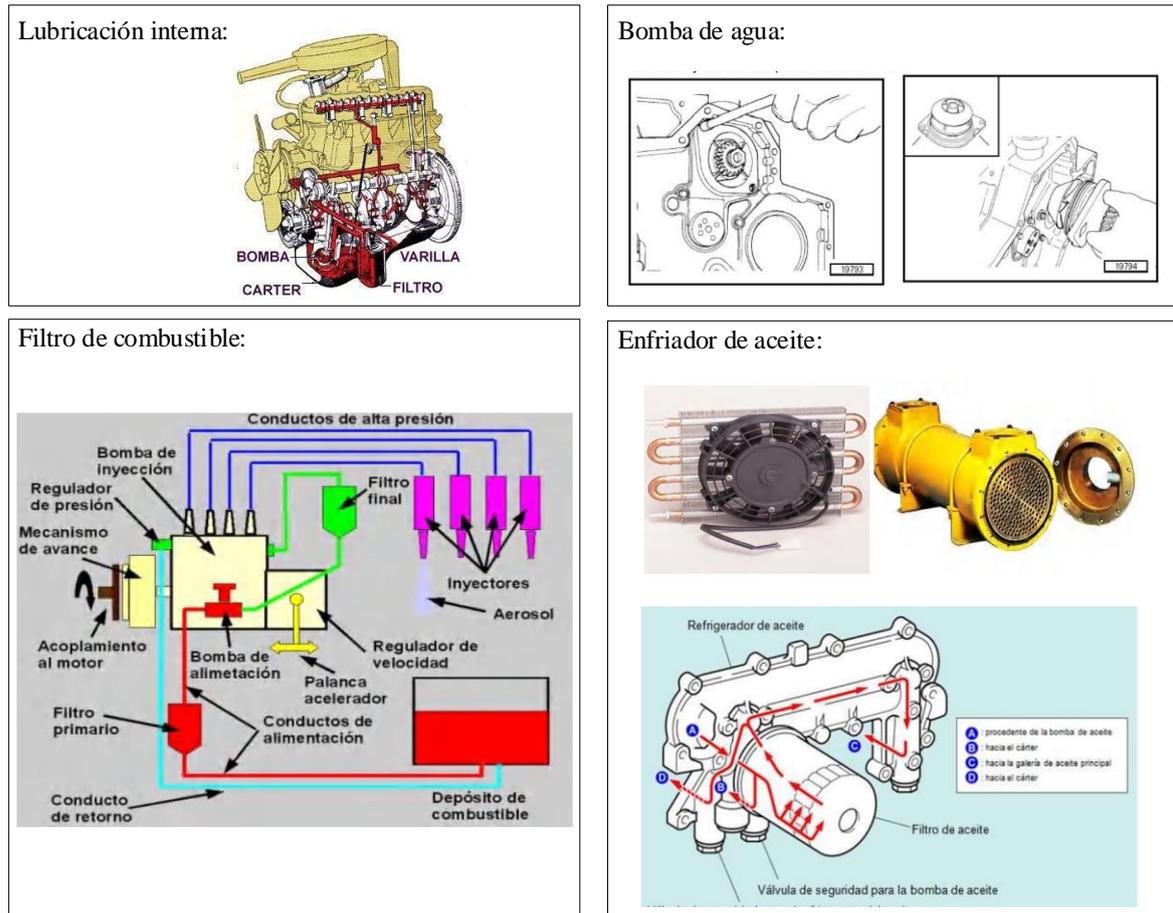


Figura 13. Componentes de fallo del motor.

Nota. Componentes de motor Diesel que opera en una industria minera.

2.2.2 Muestra

Para el presente trabajo, se considera el método de muestreo no probabilístico y a conveniencia, es decir no se hace uso de métodos estadísticos para calcular la muestra y a conveniencia se determina como muestra a la totalidad de la población, es decir por los dieciocho equipos de maquinaria pesada, analizados durante 12 meses. Se consideró una muestra a conveniencia porque la cantidad de equipos es pequeña, igual a 18 equipos.

2.3 Operacionalización de variables

Las variables en estudio son:

Variable independiente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

Variable dependiente: Eficiencia de Equipos (OEE), definidas en el capítulo 1, sección marco teórico.

Finalmente se presenta primero la matriz de consistencia a modo resumen, donde se identifica a las variables del presente estudio, las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis en la siguiente matriz de consistencia en la Tabla 3 y en la Tabla 4 se presenta la matriz de operacionalización de variables, en la cual se identifican las variables independiente y dependiente en estudio, sus respectivas dimensiones, indicadores y fórmula, además de la identificación del tipo de instrumento a utilizar para la recopilación de datos y finalmente el tipo de escala de medición a utilizar por indicador.

Tabla 4

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>Problema General: ¿De qué manera la aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, permitirá mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022?</p>	<p>Objetivo General: Aplicar la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) para una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, para mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022.</p>	<p>Hipótesis General: La aplicación de la Metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo, permitirá mejorar la Eficiencia de Equipos (OEE) en una empresa del sector minero, Lima 2022.</p>	<p>Variable Independiente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).</p>
<p>Problemas específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ¿Cómo se podrá diagnosticar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos? 2. ¿De qué manera se podrá determinar los componentes de fallo de equipos que generan las paradas de máquina.? 3. ¿Cómo se podrá diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas? 4. ¿En qué medida se podrá cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Diagnosticar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos. 2. Determinar los componentes de fallo de equipos que generan paradas de máquina. 3. Diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas. 4. Cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM 	<p>Hipótesis específicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. A través del diagnóstico se podrá analizar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos. 2. Mediante el análisis de modos y fallos se podrá determinar los componentes de fallo de equipos que generan las paradas de máquina. 3. Se podrá diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas. 4. Se podrá cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM. 	<p>Variable Dependiente: Eficiencia de Equipos (OEE).</p>

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Fórmula	Instrumento	Escala de Medición
Independiente:					
Metodología RCM	Metodología RCM	Siete pasos para aplicar RCM	Sin fórmula	Matriz AMFE	Nominal
Dependiente:					
Indicador OEE	Disponibilidad (D)	Nivel de tiempo productivo en relación al tiempo total disponible. TDP: Tiempo disponible para producir. TPP: Tiempo perdido para dar inicio a la producción.	$\% D = \frac{TDP - TPP}{TDP}$	Ficha de recolección de datos	Razón
	Rendimiento (R)	Nivel de producción real en relación a la capacidad que se tiene en producción. PRO: Producción real obtenida. CTP: Capacidad total de producción.	$\% R = \frac{PRO}{CTP}$	Ficha de recolección de datos	Razón
	Calidad (C)	Nivel de producción conforme en relación a la producción total. PC: Producción conforme PT: Producción total	$\% C = \frac{PC}{PT}$	Ficha de recolección de datos	Razón

Nota. Elaboración propia.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas utilizadas en el presente trabajo de tesis fueron: La observación directa, la ficha de recolección de datos y el análisis documental; donde la observación tuvo por instrumento al registro de: Elementos funcionales y la falla funcional, ver ANEXO N° 2, como instrumento de la ficha de recolección de datos se tiene a la matriz AMFE, ver ANEXO N°3, finalmente se tiene que el instrumento utilizado para el análisis documental fue el registro de producción y calidad, ver ANEXO N° 4, 5, 6 y 7.

En la Tabla 6 se describe la técnica utilizada en el presente estudio, la finalidad de utilización de la técnica, los instrumentos utilizados por tipo de técnica y para que fueron utilizados estos instrumentos.

Tabla 6

Técnica e instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Finalidad de utilización	Instrumentos	Utilizado para
Observación directa	Mediante su utilización permite analizar mediante la observación, como se comportan las variables en estudio, de forma real, permitiendo entender la situación real en que se presentan los problemas en estudio; es una forma directa de recopilar información real de los hechos, sin tener influencia de personas que puedan manipular los hechos reales; para luego plantear la solución de los problemas identificados.	Registro de: Elementos funcionales. Falla funcional (ANEXO N° 2)	Observar el proceso de mantenimiento de equipos, tomar nota de los motivos de la parada de equipos, para tomar tiempos de paradas de equipos, para tomar tiempos de mantenimiento y para tomar datos de otros eventos que se considere importante para el estudio ya sea en la etapa de diagnóstico como para proponer la solución.
Ficha de recolección de datos	Permite levantar información previamente estructurada con la finalidad de facilitar su tabulación, proceso y análisis posterior. Permite filtrar el tipo de información a recopilar y evitar así pérdida de tiempo y distractores en información que no va ayudar a analizar la problemática ni la propuesta de mejora. La existencia de esta técnica es importante porque será clave para medir las variables, así como los objetivos planteados.	Matriz AMFE (ANEXO N° 3)	Consolidar información que permite analizar el problema: Elemento funcional, función de los elementos, las fallas funcionales, el modo y el estado de las fallas.
Análisis documentario	Permite analizar información histórica del problema, el cual permite identificar y sustentar la existencia del problema en estudio.	Registro de: Producción y calidad (ANEXO N° 4 al 7)	Determinar indicadores de: Disponibilidad Rendimiento Calidad OEE

Nota. Breve descripción de la finalidad de utilización de las técnicas utilizadas en el presente trabajo, así como una breve explicación para que fue utilizado. Elaboración propia.

Mientras que, el análisis de datos se realizó mediante la utilización del Programa Excel, en el cual se tabularon los datos antes, durante y posterior a la propuesta de aplicación de RCM tomando como base la información recopilada mediante los instrumentos detallados en la Tabla 6; mediante la tabulación de estos datos se obtuvieron tablas y gráficos estadísticos que resumen y evidencian el problema, la solución y los resultados del presente trabajo.

2.5 Procedimiento de recolección de datos

El procesamiento de recolección de datos se presenta en dos partes, primero se describe el procedimiento de tratamiento de datos y luego se procede a realizar el análisis de los datos.

2.5.1 Procedimiento de tratamiento de datos

El procedimiento de recolección de datos se realizó de la siguiente manera:

1° Se diagnosticó la situación actual de una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo al sector minero a través de:

- Se procesó información mensual del año 2020, horas de paradas de máquina, disponibilidad, rendimiento y calidad para la flota de maquinaria pesada de una empresa minera.

2° Se determinó los componentes de fallo de equipos que generan paradas de máquina, a través de:

- Se determinó el equipo crítico al cual se aplicó RCM mediante un análisis de Pareto.
- Se analizó las paradas y micro paradas de equipo por tipo de fallo en horas.

- Se procedió a determinar los componentes de fallo de equipos críticos.

3° Se diseñó la aplicación de RCM para los componentes de fallo que generan paradas de máquinas a través de:

- Se determinó los modos de falla por componente de fallo.
- Se determinó los criterios de criticidad.
- Se realizó un análisis de criticidad.
- Se determinó tareas propuestas.
- Se elaboró el programa de mantenimiento preventivo.

4° Se cuantificó la inversión requerida para la aplicación del RCM.

El procedimiento de tratamiento de datos queda definido de acuerdo a la Figura 14.

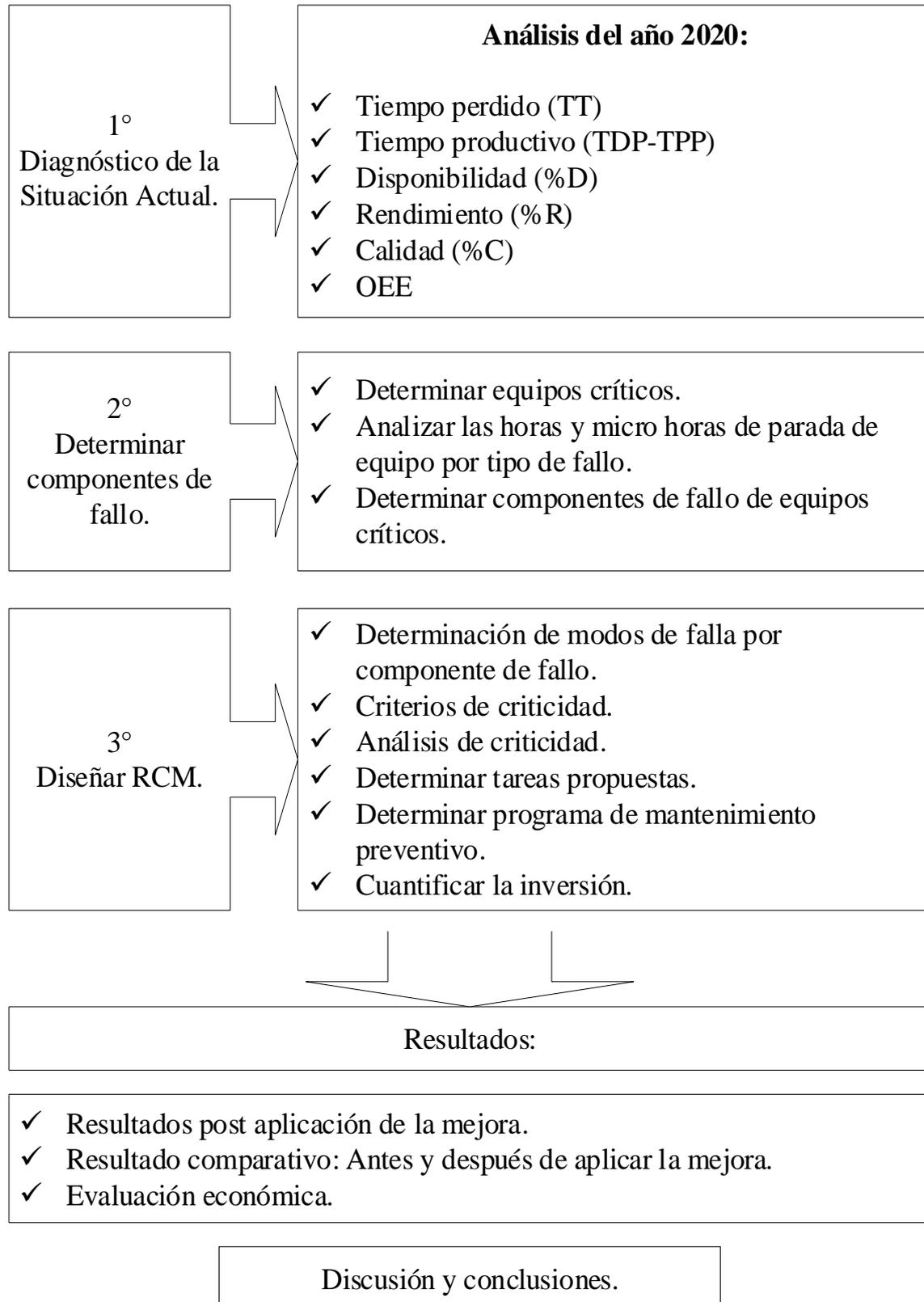


Figura 14. *Flujo de procedimiento realizado.*

Nota. Flujo seguido para la aplicación del RCM. Elaboración propia.

2.5.2 Análisis de datos

2.5.2.1 Diagnóstico de la situación actual.

A continuación se procede a realizar el diagnóstico de la situación actual para la empresa minera en estudio tomando como base para el análisis el año 2020, es así que se tiene que:

Para analizar el OEE de la empresa minera en estudio, primero se procedió a analizar el tiempo perdido para dar inicio a la producción (TPP), el cual llega a 472 horas, es así que se obtuvo la Figura 15.

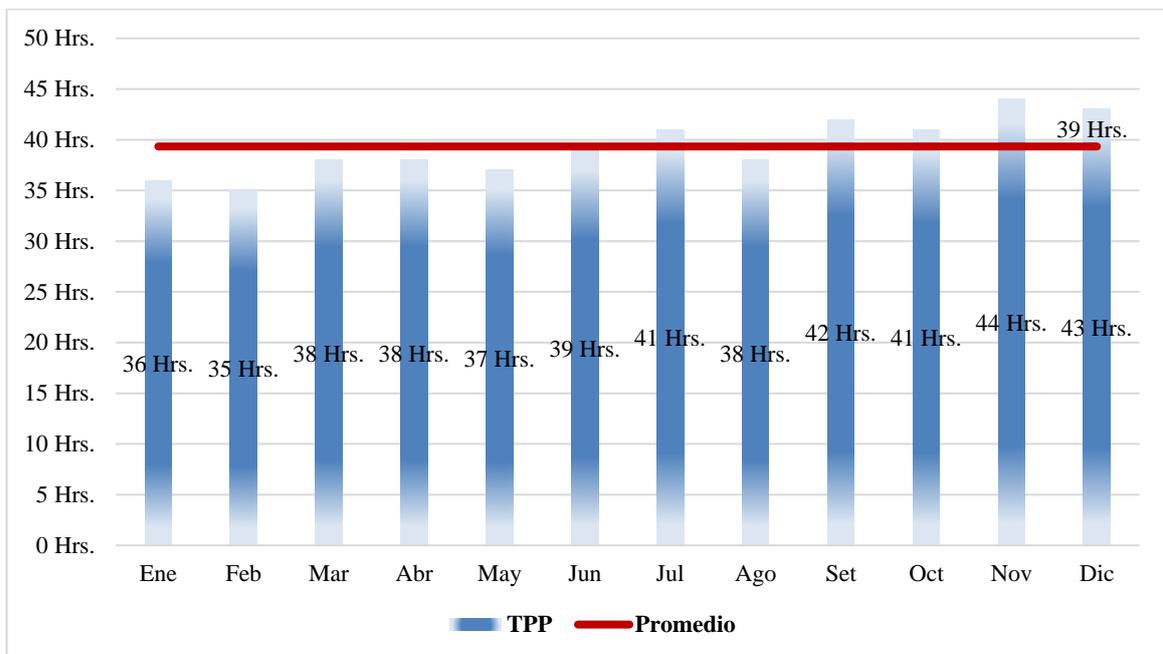


Figura 15. Tiempo perdido por parada de equipo 2020.

Nota. Análisis mensual realizado del año 2020. Fuente: Elaboración propia.

Luego, tomando en cuenta el tiempo perdido para dar inicio a la producción, se determinó el tiempo productivo, el cual se obtuvo restando el TPP al tiempo disponible para producir (TDP), obteniendo así que el tiempo productivo (TDP-TPP), ver Figura 16 y en el Anexo 8 ver la tabla de datos que dan origen a esta figura.

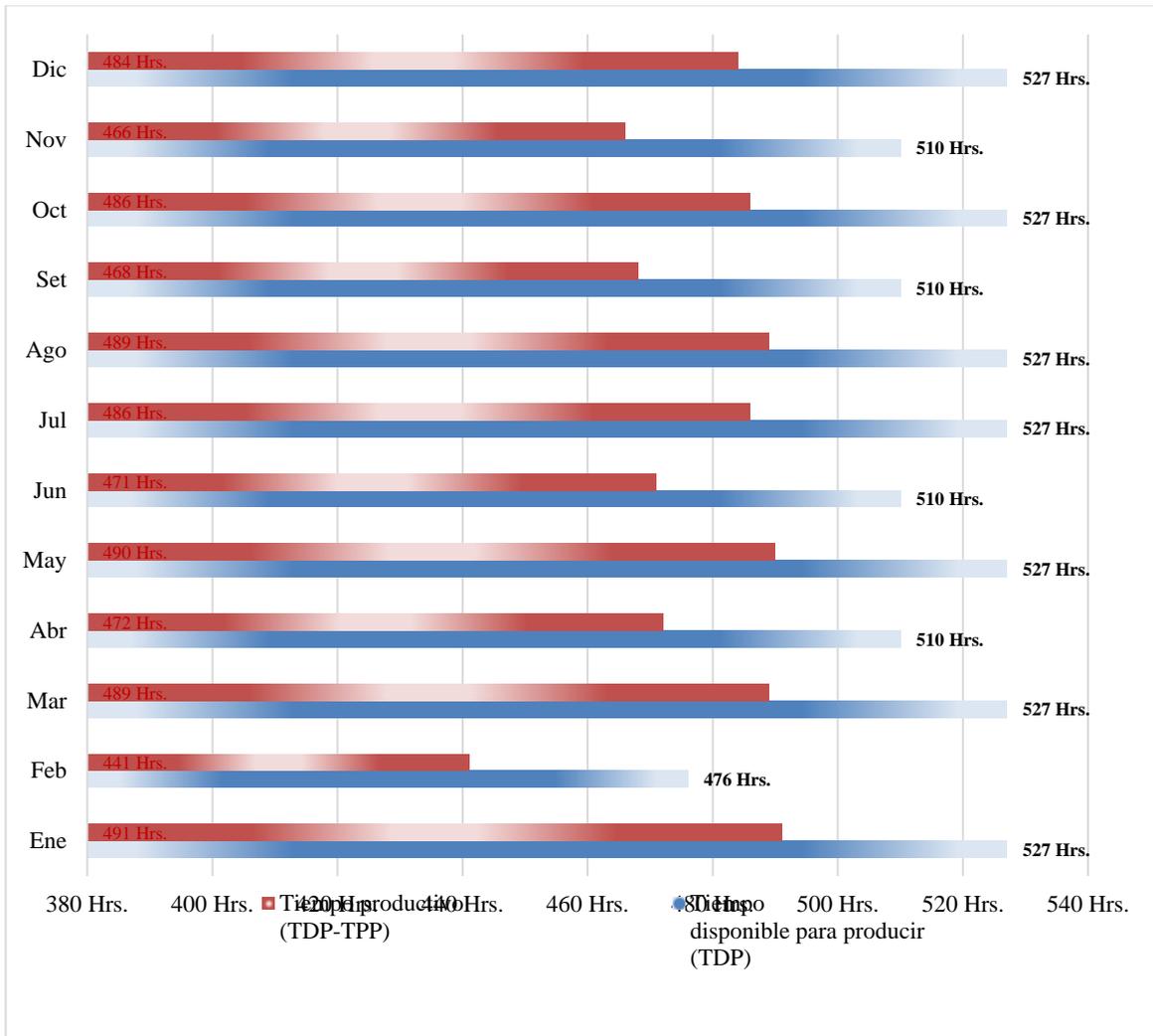


Figura 16. Cálculo del tiempo productivo 2020.

Nota. Tiempo obtenido restando el TPP al TDP. Fuente: Elaboración propia.

Con el tiempo disponible para producir y el tiempo productivo, se obtiene la disponibilidad, de acuerdo a la siguiente fórmula establecida. Ver Figura 17 con el comportamiento de disponibilidad del año 2020, el cual llegó a un promedio de 92.39%, y en el Anexo 9 ver la tabla de datos de los tiempos que dieron origen a la disponibilidad.

$$\% D = \frac{TDP - TPP}{TDP}$$

TDP: Tiempo disponible para producir.

TPP: Tiempo perdido para dar inicio a la producción.

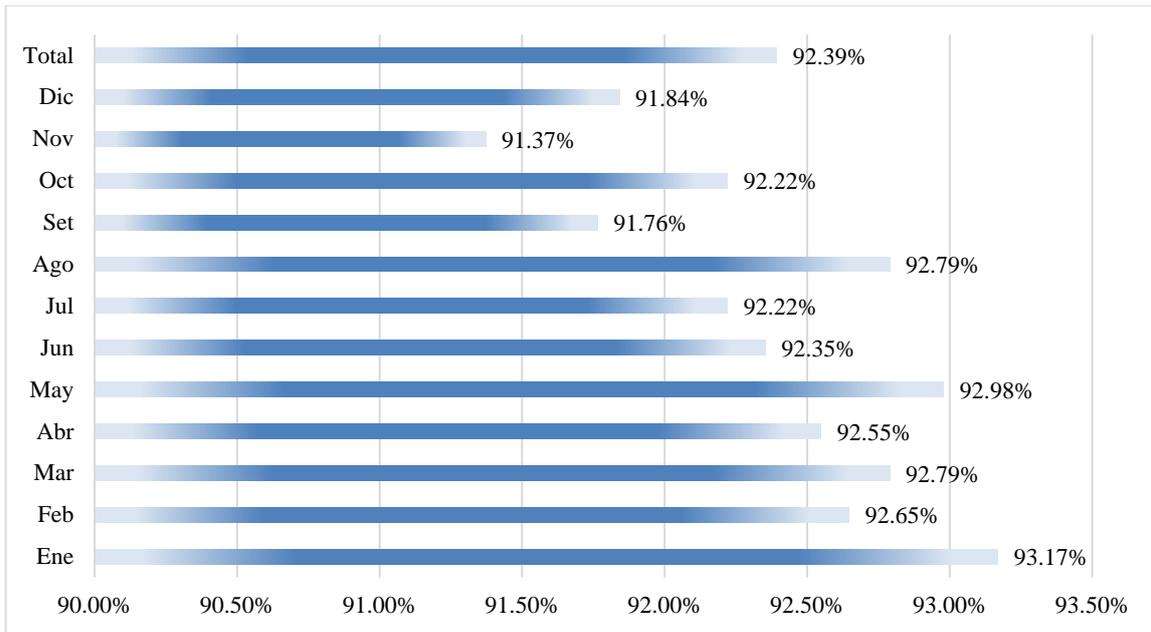


Figura 17. Disponibilidad 2020.

Nota. Promedio de disponibilidad del año 2020: 92.39%. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que se tiene una producción de 194.47 Toneladas métricas por hora (TMH) y el tiempo productivo calculado en la Figura 11, se presenta la Figura 18 con la capacidad total de producción (CTP), ver Figura 18.

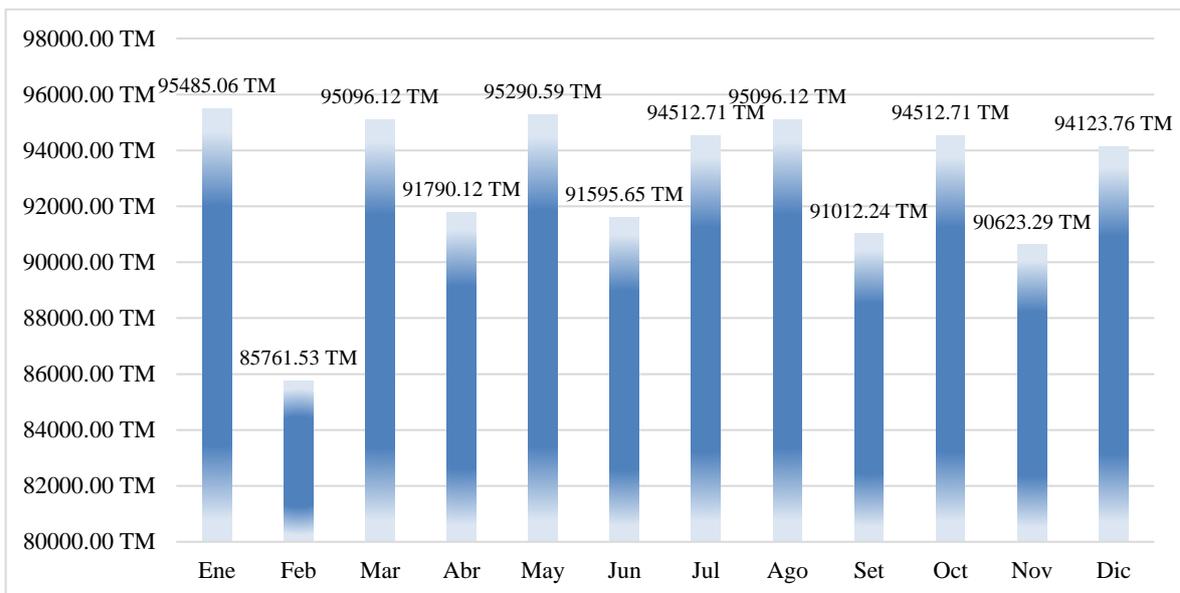


Figura 18. Capacidad total de producción (CTP) 2020.

Nota. Evolución de la capacidad de producción durante el año 2020. Fuente: Elaboración propia.

Conociendo la capacidad total de producción (CTP) y la producción real obtenida (PRO) se calcula el rendimiento, el cual se muestra en la Figura 19, el cual evidencia inestabilidad, con 91.42% de rendimiento promedio 2020 el cual fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{\text{PRO}}{\text{CTP}}$$

PRO: Producción real obtenida.

CTP: Capacidad total de producción.

En el Anexo 10 se presenta la tabla de datos correspondiente.

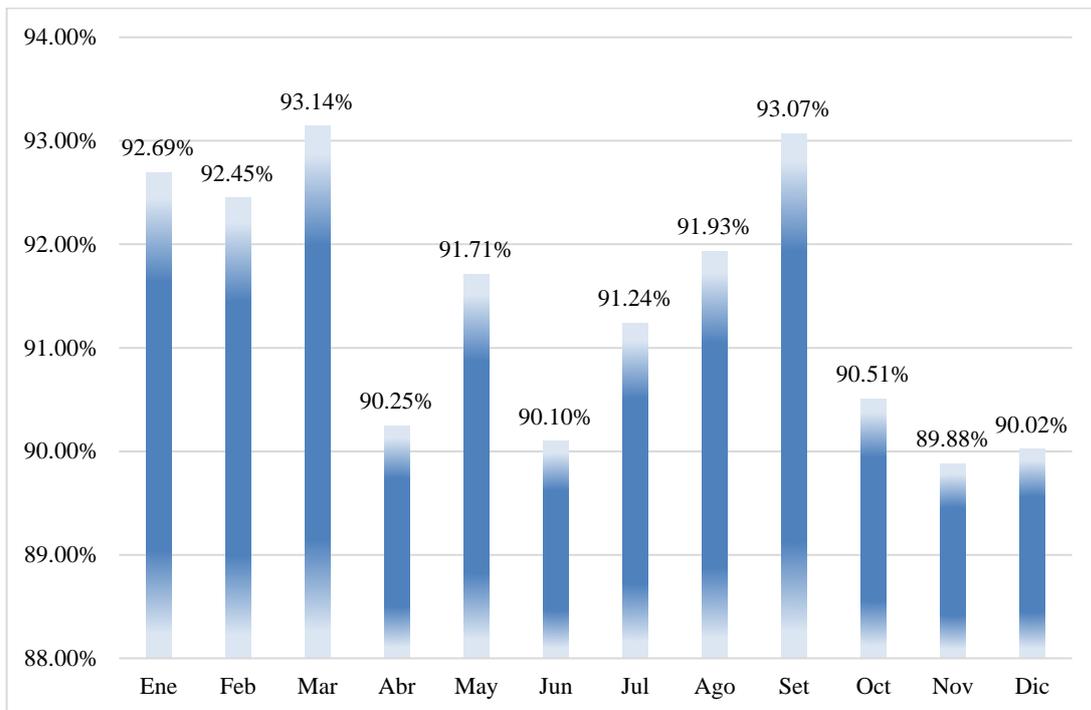


Figura 19. Rendimiento 2020.

Nota. Promedio de *rendimiento* del año 2020: 91.42%. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 20 se presenta el reporte total de producción conforme durante el año 2020, evidenciando una tendencia a la disminución,

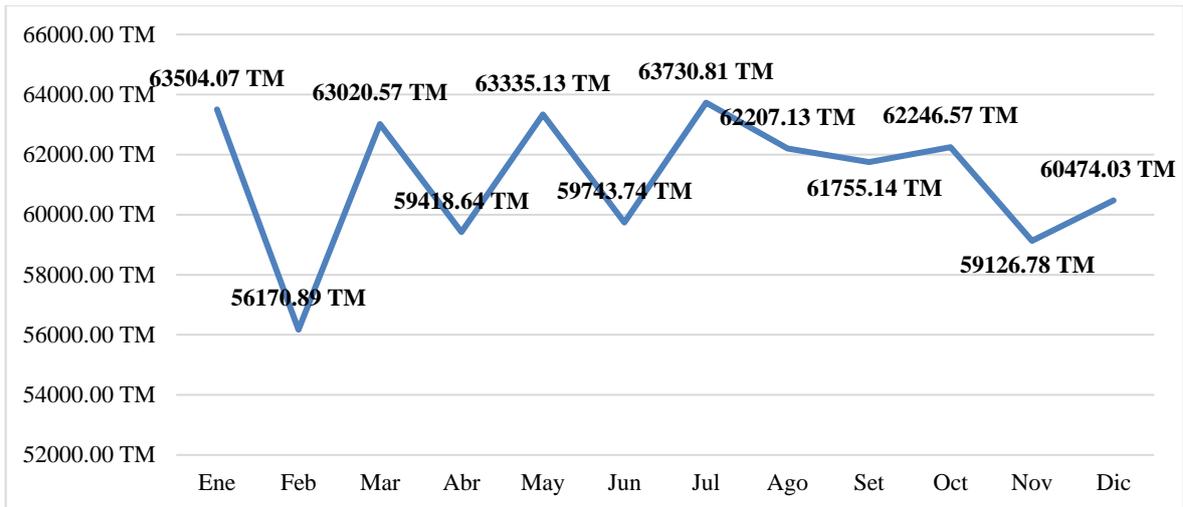


Figura 20. Producción conforme 2020.

Nota. Información mensual en TM. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la calidad obtenida, el cual se ha determinado de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\% C = \frac{PC}{PT}$$

PC: Producción conforme

PT: Producción total

Ver en Anexo 11 la tabla de datos con la producción total (PT) y la producción conforme (PC), mientras que en la Figura 21 se presenta el resultado obtenido como porcentaje de calidad, el cual fue de 72.09%.

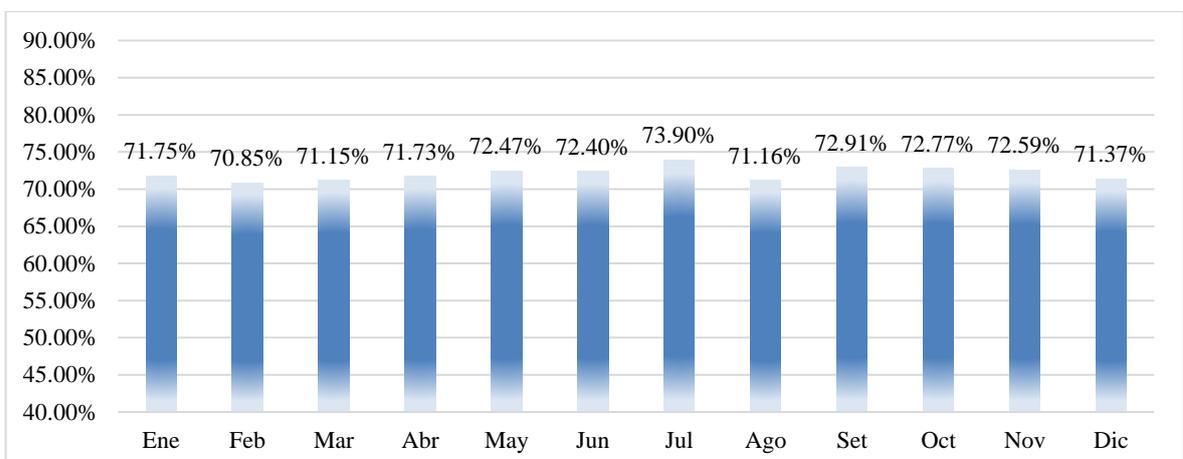


Figura 21. Indicador de Calidad 2020.

Nota. Evolución mensual de la calidad. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la Tabla 7 con el OEE del año 2020, año de análisis, también denominado indicador OEE calculado en el año antes de aplicar la mejora, el cual es resultado de multiplicar la disponibilidad por rendimiento, por calidad, los cuales fueron determinados en las Figuras 17, 19 y 21.

Donde se observa que el OEE promedio del año 2020 fue de 60.89%, con un mínimo de 59.01% obtenido en el mes de diciembre 2020 y con un máximo de 62.27% obtenido en el mes de setiembre del mismo año.

Tabla 7
Cálculo del OEE 2020.

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Ene	93.17%	92.69%	71.75%	61.96%
Feb	92.65%	92.45%	70.85%	60.68%
Mar	92.79%	93.14%	71.15%	61.49%
Abr	92.55%	90.25%	71.73%	59.91%
May	92.98%	91.71%	72.47%	61.80%
Jun	92.35%	90.10%	72.40%	60.24%
Jul	92.22%	91.24%	73.90%	62.18%
Ago	92.79%	91.93%	71.16%	60.70%
Set	91.76%	93.07%	72.91%	62.27%
Oct	92.22%	90.51%	72.77%	60.74%
Nov	91.37%	89.88%	72.59%	59.62%
Dic	91.84%	90.02%	71.37%	59.01%
Promedio	92.39%	91.42%	72.09%	60.89%
Mínimo	91.37%	89.88%	70.85%	59.01%
Máximo	93.17%	93.14%	73.90%	62.27%

Nota. Con valores máximos y mínimos por valor de componente del OEE. Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.2 Componentes de fallo que generan paradas de máquina.

Primero se realizó un análisis de frecuencias de ocurrencias de fallas que ocasionan paradas de equipos, obteniendo así la Tabla 8, donde se identifica que los componente de fallo más comunes ocurridos en los años 2018, 2019 y 2020 fueron: Motores, sistema de ejes, excéntrica, hidrosset y carcasa (superior e inferior) en los equipos analizados según la muestra en estudio, descrito en la Tabla 3: Retroexcavadoras, excavadoras y volquetes.

Tabla 8

Frecuencias de componentes de fallo en equipos de maquinaria pesada 2018 al 2020.

Componente de fallo	2018	2019	2020	Promedio
Motor	196	231	341	256
Sistema de ejes	19	23	62	34
Excéntrica	15	18	45	26
Hydroset	6	8	13	9
Carcasa (Superior/inferior)	5	8	11	8
Total Paradas	241	288	472	333

Nota. Cantidad de fallos por tipo de fallos encontrados entre los equipos identificados como muestra. Fuente: Elaboración propia.

Con la información obtenida en la Tabla 8 se obtuvo el Diagrama de Pareto de la Figura 22, donde se tiene que los motores ocasionan mayor cantidad de fallos con el 76.88% de fallos.

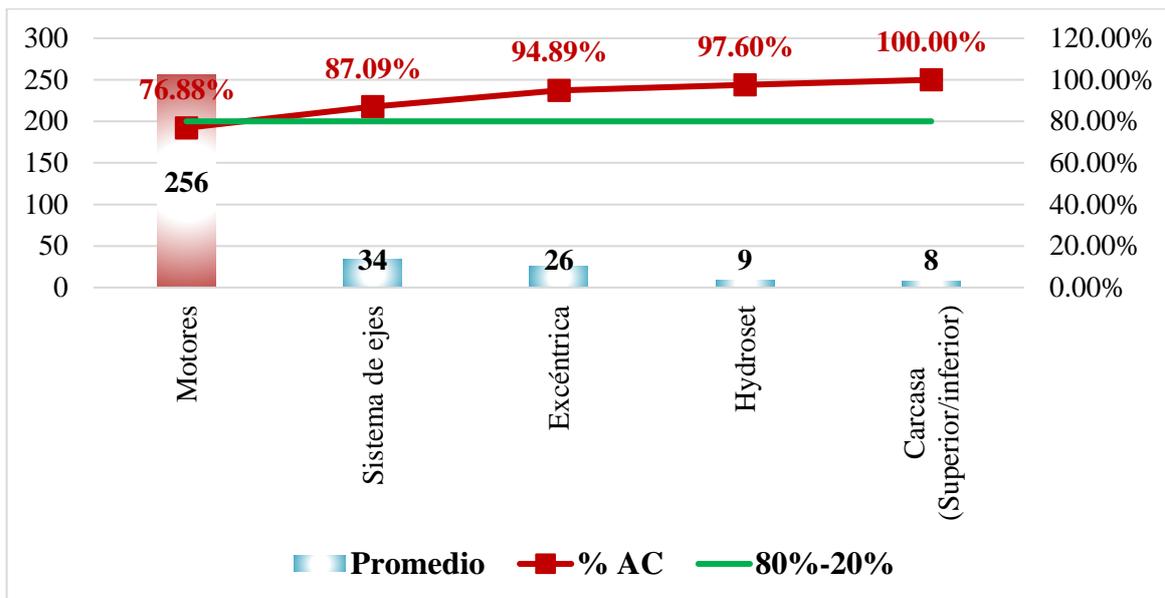


Figura 22. Pareto de identificación de fallo representativo.

Nota. Los motores ocasionan 256 horas de paradas de equipo, equivalente al 76.88%.

Fuente: Elaboración propia.

Se analizó las paradas y micro paradas de los componentes de fallo del año 2020, quedando demostrado que los motores son los que mayor cantidad de fallos ocasionan el proceso productivo minero de la empresa en estudio con 341 horas de fallo de 472 horas totales, equivalente al 72.25% y con 82.35% de micro paradas, ver Tabla 9 y 10.

Tabla 9

Paradas por tipo de fallo 2020.

Mes	Motores	Sistema de ejes	Excéntrica	Hydroset	Carcasa (Superior/inferior)	Total
Ene	28 Hrs.	5 Hrs.	3 Hrs.			36 Hrs.
Feb	26 Hrs.	4 Hrs.	4 Hrs.	1 Hrs.		35 Hrs.
Mar	27 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.		2 Hrs.	38 Hrs.
Abr	26 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.	2 Hrs.	1 Hrs.	38 Hrs.
May	28 Hrs.	6 Hrs.	3 Hrs.			37 Hrs.
Jun	28 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	39 Hrs.
Jul	30 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	41 Hrs.
Ago	29 Hrs.	5 Hrs.	3 Hrs.	1 Hrs.		38 Hrs.
Set	28 Hrs.	6 Hrs.	4 Hrs.	2 Hrs.	2 Hrs.	42 Hrs.
Oct	30 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	41 Hrs.
Nov	31 Hrs.	6 Hrs.	4 Hrs.	2 Hrs.	1 Hrs.	44 Hrs.
Dic	30 Hrs.	5 Hrs.	4 Hrs.	2 Hrs.	2 Hrs.	43 Hrs.
Total	341 Hrs.	62 Hrs.	45 Hrs.	13 Hrs.	11 Hrs.	472 Hrs.

Nota. Horas de paradas de equipo por tipo de parada 2020. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Micro-Paradas por tipo de fallo 2020.

Mes	Motores	Sistema de ejes	Excéntrica	Hydroset	Carcasa (Superior/inferior)	Total
Ene	8.0 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.			10 Hrs.
Feb	5.2 Hrs.	1 Hrs.		1 Hrs.	1 Hrs.	8 Hrs.
Mar	7.8 Hrs.		1 Hrs.			9 Hrs.
Abr	10.7 Hrs.	1 Hrs.		1 Hrs.		13 Hrs.
May	10.8 Hrs.		1 Hrs.			12 Hrs.
Jun	9.2 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.		1 Hrs.	12 Hrs.
Jul	11.1 Hrs.			1 Hrs.		12 Hrs.
Ago	12.2 Hrs.		1 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	15 Hrs.
Set	10.9 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.			13 Hrs.
Oct	12.7 Hrs.	1 Hrs.				14 Hrs.
Nov	10.8 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.	15 Hrs.
Dic	11.8 Hrs.	1 Hrs.	1 Hrs.		1 Hrs.	15 Hrs.
Total	121.35	8	8	5	5	147 Hrs.

Nota. Horas de micro paradas de equipo por tipo de parada 2020. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 11 se presenta los componentes de fallo detectados en los motores.

Tabla 11

Componentes de fallo en motores.

Componentes de fallo

- Lubricación interna
- Bomba de agua
- Fajas del ventilador
- Filtro de Combustible
- Enfriador de aceite

Nota. Componentes de fallo en motores en equipos de maquinaria pesada. La identificación gráfica de estos componentes se presentó en la Figura 13. Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.3 Aplicación de RCM.

Primero: Para la aplicación del RCM, se formó el equipo multidisciplinario formado por: Jefe de mantenimiento, Jefe de planta, Supervisor de mantenimiento y técnicos de mantenimiento. Dado que no se tiene autorización de la empresa, no se puede evidenciar nombres ni fotografías de las reuniones de coordinación que se realizaron.

Segundo: Determinación de modos de falla por componente de fallo, para lo cual se presenta la Tabla 12, en la cual se detalla el componente de fallo, la falla funcional, causa y efectos de fallo por componente.

Tabla 12

Matriz AMFE: Modos de fallo por componente de fallo.

Componente	Falla funcional	Causa	Efecto
Lubricación interna	Las piezas del motor no se encuentran lubricadas de forma adecuada para su funcionamiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo excesivo de aceite. - Se desgastan las piezas. - Dificulta el arranque del motor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Genera pérdida de presión y no permite que las piezas se lubriquen de forma correcta. - Se eleva la temperatura del motor. - Se quema el aceite.
Bomba de agua	No mantiene la temperatura del motor	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida del líquido refrigerante 	<ul style="list-style-type: none"> - Motor se sobre calienta. - La bomba de agua se oxida y corroe. - Desgaste de líquido refrigerante.
Fajas del ventilador	La faja no permite que el ventilador trabaje de forma normal.	<ul style="list-style-type: none"> - Los dientes se encuentran desgarrados. - Desgaste de dientes de la faja. - Desgaste lateral de la faja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de sincronización, rotura. - Recalentamiento del motor.
Filtro de Combustible	No mantiene limpio el filtro de combustible.	<ul style="list-style-type: none"> - Presencia de partículas sólidas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para arrancar el motor. - Problemas para acelerar el equipo. - Incremento de consumo de combustible.
Enfriador de aceite	Manguera de transmisión se encuentra dañada.	<ul style="list-style-type: none"> - Manguera de transmisión dañada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida del líquido refrigerante - Presencia de aceite en el sistema de enfriamiento. - Recalentamiento del motor.

Nota. Descripción de componentes de fallo para los 5 componentes determinados en la Tabla 11. Fuente: Elaboración propia.

Tercero: Realizar el análisis de criticidad, para lo cual se establece los criterios a analizar como componente de criticidad, el mismo que permitirá determinar el nivel de criticidad de cada uno de los componentes de fallos determinado en la Tabla 12.

Los criterios establecidos son los siguientes:

- a) Respecto al proceso, se busca analizar si la falla detiene, relentiza o no detiene el proceso de producción en la empresa minera, donde las calificaciones van de 0 a 2 de acuerdo a la gravedad de afectación de la falla en el proceso, ver Tabla 13.

Tabla 13

Respecto a la afectación al proceso.

Definición	Calificación
Detiene	2
Relentiza	1
No detiene	0

Nota. Criterio y calificación por criterio establecido. Fuente: Elaboración propia.

- b) De acuerdo al costo de reparación, se busca analizar si el costo de reparación es menor a \$ 1,500, se encuentra entre \$ 1,5001 y \$ 11,999 o si supera los \$ 12,000, las calificaciones van de 1 a 3 de acuerdo al costo que requeriría la reparación, ver Tabla 14.

Tabla 14

Según costo de reparación.

Definición	Costo	Calificación
Alto	Mayor a \$ 12,000	3
Medio	Entre \$ 1,501 y \$ 11,999	2
Aceptable	Menor a \$ 1,500	1

Nota. Criterio y calificación por criterio establecido. Fuente: Elaboración propia.

- c) De acuerdo a la afectación de la falla respecto al equipo mismo, al operador y al proceso productivo, donde la calificación es 0 o 1, dado que sólo se debe responder con un No o Sí. Ver Tabla 15.

Tabla 15

De acuerdo a la afectación de la falla.

Afectación probable	Sí	No	Descripción
Al equipo	1	0	El daño puede expandirse a otros componentes.
Al operador	1	0	Existe riesgo de que el operador sufra algún daño.
Al proceso productivo	1	0	Puede afectar al proceso productivo.

Nota. Criterio y calificación por criterio establecido. Fuente: Elaboración propia.

Luego se definen los rangos por niveles de criticidad, estableciendo tres tipo de niveles: Bajo, medio y alto, donde se considera que el fallo es de criticidad baja si el resultado se encuentra entre 1 y 2, medio si el resultado se encuentra entre 3 y 5 y alto si el resultado se encuentra entre 6 y 8, ver Tabla 16.

Tabla 16

Valoración de resultados de niveles de criticidad.

Nivel	Rango
Bajo (A)	1 a 2
Medio (B)	3 a 5
Alto (C)	6 a 8

Nota. Niveles determinantes para la criticidad de los fallos. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la Tabla 17 con el resultado de análisis de criticidad a los componentes de fallo descritos en matriz AMFE en la Tabla 12

Tabla 17
Resultado de análisis de criticidad.

Componente	Función	Falla funcional	Causa	Efecto	Respecto al proceso			Costo de reparación			De acuerdo a la afectación de la falla			Resultado		
					Detiene	Relentiza	No detiene	Alto	Medio	Aceptable	Al equipo	Al operador	Al proceso productivo			
					2	1	0	3	2	1	0/1	0/1	0/1			
Lubricación interna	1	Distribuir aceite hacia la totalidad de partes móviles que se encuentran dentro del motor, con el objeto que la fricción sea mínima.	A	Las piezas del motor no se encuentran lubricadas de forma adecuada para su funcionamiento.	1	Consumo excesivo de aceite.	Genera pérdida de presión y no permite que las piezas se lubriquen de forma correcta.		1		2	1	0	1	5	B
					2	Se desgastan las piezas.	Se eleva la temperatura del motor.				1	0	1	6	C	
					3	Dificulta el arranque del motor.	Se quema el aceite.	2			1	0	1	7	C	
Bomba de agua	2	Evitar que exista sobrecalentamiento del motor.	B	No mantiene la temperatura del motor	4	Pérdida del líquido refrigerante	Motor se sobre calienta.	2		3	1	0	1	7	C	
							La bomba de agua se oxida y corroe.				1	0	1	5	B	
							Desgaste de líquido refrigerante.				1	0	1	5	B	
Fajas del ventilador	3	Permite el funcionamiento óptimo del ventilador.	C	La faja no permite que el ventilador trabaje de forma normal.	5	Los dientes se encuentran desgarrados.	Pérdida de sincronización, rotura.	2			1	1	0	1	5	B
					6	Desgaste de dientes de la faja.	Recalentamiento del motor.				1	1	0	1	4	B
					7	Desgaste lateral de la faja.								0	A	
Filtro de Combustible	4	Evita que cuerpos extraños ingresen al motor por medio del combustible.	D	No mantiene limpio el filtro de combustible.	8	Presencia de partículas sólidas.	Dificultad para arrancar el motor.	2		2	1	0	1	6	C	
							Problemas para acelerar el equipo.				1	0	1	6	C	
							Incremento de consumo de combustible.				1	1	0	1	4	B
Enfriador de aceite	5	Intercambia calor por medio del refrigerante evitando recalentamiento del motor.	E	Manguera de transmisión se encuentra dañada.	9	Manguera de transmisión dañada.	Pérdida del líquido refrigerante		1		1	1	0	1	4	B
							Presencia de aceite en el sistema de enfriamiento.				1	1	0	1	4	B
							Recalentamiento del motor.	2		2	1	0	1	6	C	

Nota. Selección de fallos críticos de acuerdo a análisis de criticidad. Fuente: Elaboración propia.

Cuarto: Se procede a aplicar el proceso de decisión del RCM, el cual se presenta en la Figura 23, donde H permite evaluar si el modo de falla ¿Será evidente a los operarios la pérdida de función causada por este modo de falla actuando por sí solo en circunstancias normales?, S permite evaluar si el modo de falla ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien?, E permite evaluar si el modo de falla ¿Produce este modo de falla una pérdida de función u otros daños que pudieran infringir cualquier normativa o reglamento del medio ambiente? y O permite evaluar si el modo de falla ¿Ejerce el modo de falla un efecto adverso directo sobre la capacidad operacional (producción, calidad, servicio o costes operativos además de los de la reparación?

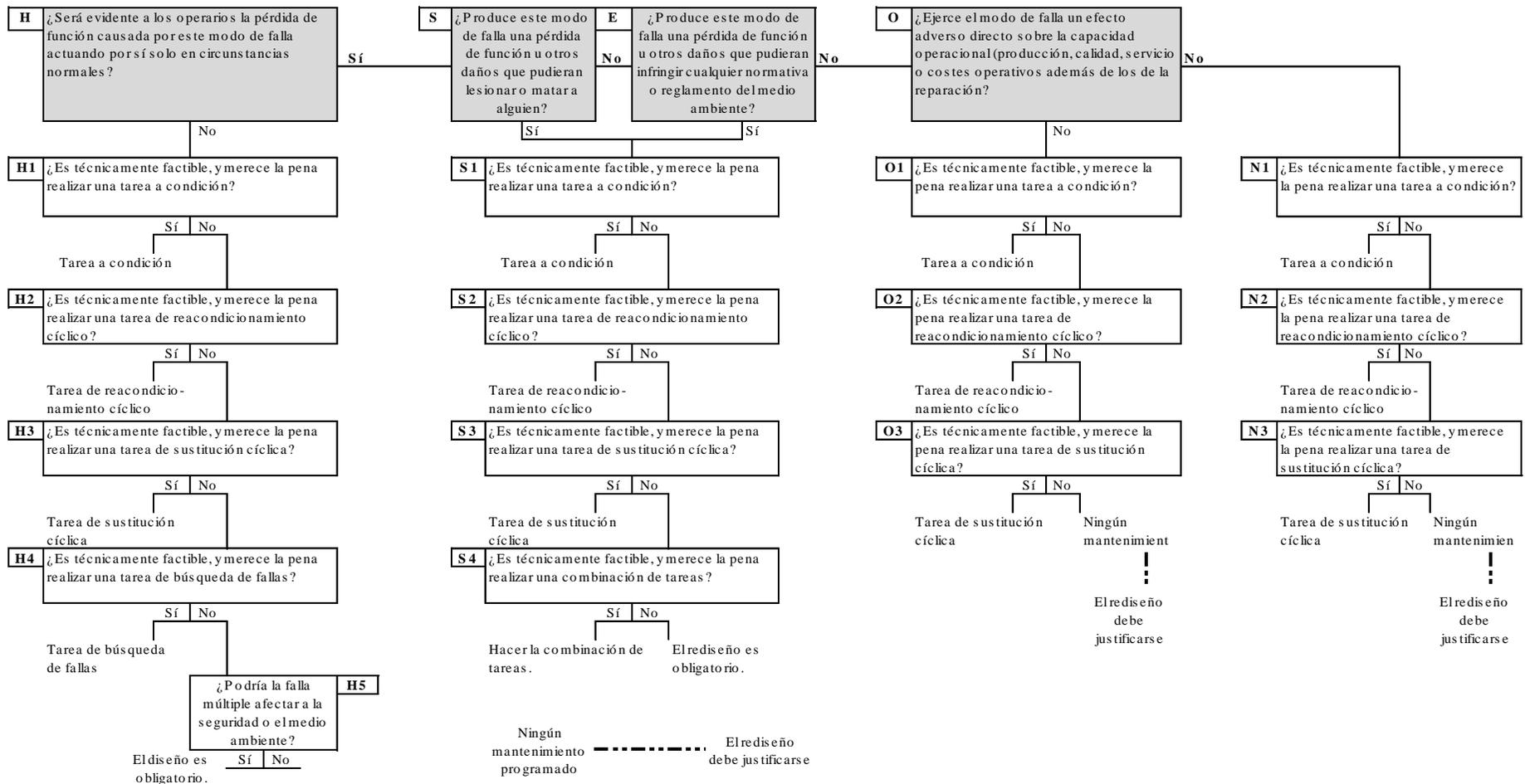


Figura 23. Diagrama de decisión RCM.

Nota. Modelo que permite evaluar la evidencia, seguridad, medio ambiente y operacionalmente de las fallas para la toma de decisión RCM.

Fuente: (Moubray, 2004, p- 204-205).

Seguidamente, se procede a utilizar el formato de decisión RCM de la Figura 24 para los componentes críticos determinado en el análisis realizado en la Tabla 17 (Críticidad C). es preciso indicar que al formato de decisión RCM se añade una columna de horas requeridas para la ejecución del mantenimiento. Ver resultado del análisis de decisión en la Tabla 18.

Tabla 18

Decisión RCM por componente de fallo crítico.

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				TC	TR	SC	Acción a falta de				Tarea propuesta	Intervalo inicial o frecuencia inicial	A ser realizado por:	Horas Requeridas
							H1	H2	H3								
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4					
1	A	A2	N	N	N	S	N	S					Seguir procedimiento de manual de uso del fabricante.	Diario	Mecánico	0.25	
		A3	N	N	N	S	N	S					Verificar nivel de aceite	Diario	Mecánico	0.25	
2	B	B4	N	N	N	S	N	N	S				Realizar pruebas de circuito refrigerante	Mensual	Mecánico	3.5	
4	D	D8.1	N	N	N	S	N	S					Seguir procedimiento de manual de uso del fabricante.	Mensual	Mecánico	2.55	
		D8.2	N	N	N	S	N	S					Hacer que se regenere el filtro de forma automática. Revisar nivel de aceite.	Mensual Semanal	Mecánico	3.75 0.25	
5	E	E9	N	N	N	S	N	S					Revisión del enfriador de aceite según manual del fabricante. Realizar limpieza de residuos.	Mensual	Mecánico	4 0.45	

Nota. Propuesta de solución por tipo de fallo. Fuente: Elaboración propia, tomado de (Moubray, 2004, p. 203).

Quinto: Seguidamente se procede a determinar el programa de mantenimiento con el resultado de decisión RCM descrito en la Tabla 18. Ver Tabla 19 donde se observa que para realizar el mantenimiento propuesto a equipos críticos se requiere un total de 363.75 horas al año.

Tabla 19

Programa de mantenimiento propuesto.

Causa Raíz	Resultado	Mantenimiento propuesto	Horas Requeridas	Frecuencia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total	
Se eleva la temperatura del motor.	C	Seguir procedimiento de manual de uso del fabricante.	0.25	Diario	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	90.00 Hrs.
Se quema el aceite.	C	Verificar nivel de aceite	0.25	Diario	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	90.00 Hrs.
Motor se sobre calienta.	C	Realizar pruebas de circuito refrigerante	3.5	Mensual	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	42.00 Hrs.
Dificultad para arrancar el motor.	C	Seguir procedimiento de manual de uso del fabricante.	2.55	Mensual	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	30.60 Hrs.
Problemas para acelerar el equipo.	C	Hacer que se regenere el filtro de forma automática	3.75	Mensual	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	45.00 Hrs.
Recalentamiento del motor.	C	Revisar nivel de aceite.	0.25	Semanal	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	12.75 Hrs.
		Revisión del enfriador de aceite según manual del fabricante.	4	Mensual	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	48.00 Hrs.
		Realizar limpieza de residuos.	0.45	Mensual	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	5.40 Hrs.
Total Horas					30.31	363.75 Hrs.												

Nota. Programa propuesto según resultado de análisis RCM. Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.4 Cuantificación de la inversión.

La inversión está dada por tres conceptos, siendo uno de ellos el costo de mantenimiento anual de la propuesta, es así que primero se presenta el costo total de mantenimiento de acuerdo al plan anual establecido en la Tabla 19. Es así que se tiene un costo anual de mantenimiento de S/. 23962.03, ver Tabla 20.

Tabla 20

Costo anual de mantenimiento RCM.

Equipo técnico	Cantidad	Sueldo	Total Costo
Técnico Mecánico	1	S/ 2,800.00	S/ 4,340.00
Técnico Eléctrico	1	S/ 3,800.00	S/ 5,890.00
Ayudantes	2	S/ 1,800.00	S/ 5,580.00
Total costo mano de obra por mes			S/ 15,810.00
Costo hora			S/ 65.88
Total horas de mantenimiento RCM			363.75 Hrs.
Costo total de mantenimiento			S/ 23,962.03

Nota. Costo de aplicar la propuesta de mantenimiento al año. Fuente: Elaboración propia.

Segundo: en la Tabla 21 se presenta el costo de realizar la propuesta, tomando como base costos promedio de consultoría, como si la mejora se realizara contratando a una empresa consultora, con el fin de que sirva de información para futuros investigadores o empresas similares que requieran ejecutar la implementación propuesta. Es así que el costo total por consultoría de S/. 45,300.00, donde los dos últimos costos representan costos operativos que se deben ejecutar anualmente.

Tabla 21

Costo de aplicación del RCM.

Descripción	Tiempo	Costo
Determinar componentes de fallo de equipos críticos.	5 Días	S/ 6,800.00
Determinación de modos de fallos.	10 Días	S/ 6,500.00
Determinación de criterios de criticidad.	5 Días	S/ 6,000.00
Análisis de criticidad.	5 Días	S/ 5,500.00
Programa de mantenimiento RCM propuesto.	5 Días	S/ 4,500.00
Capacitación (4 equipos = 16 personas)	5 Días	S/ 16,000.00
Sub total 1		S/ 45,300.00

Nota. Información proporcionada por la empresa en estudio. Fuente: Elaboración propia.

Tercero, se presenta la Tabla 22 con los costos de recurso humano utilizado en la realización de la mejora, para lo cual se ha necesitado de horas hombre del jefe de mantenimiento, quien centraliza la propuesta, del ingeniero a cargo de la propuesta, de personal técnico que participa de la propuesta, al igual que de ayudantes según lo especificado en la Tabla 22. Monto que asciende a S/. 21,5624.38

Tabla 22

Costos ocultos: Horas de participación de personal en la mejora.

Descripción	Participación de Personal	Sueldo	Costo-Hora	Tiempo Requerido	Costo
Jefe de Mantenimiento	1	S/ 8,500.00	S/ 54.90	18.00 Hrs.	S/ 988.13
Ingeniero	1	S/ 4,500.00	S/ 29.06	65 Días	S/ 15,112.50
Personal técnico	4	S/ 3,800.00	S/ 24.54	45.00 Hrs.	S/ 4,417.50
Ayudantes	2	S/ 1,800.00	S/ 11.63	45.00 Hrs.	S/ 1,046.25
Costo total utilizado en horas de personal					S/ 21,564.38

Nota. Datos obtenidos por la empresa en estudio de referencia. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 23 se resume los costos calculados en las Tablas 20, 21 y 22, monto que asciende a S/. 90,826.41, a los cuales se denomina inversión.

Tabla 23

Resumen de inversión.

Concepto	Costo Total	Viene de:
Costo de Mantenimiento RCM	S/ 23,962.03	Tabla 20
Costo de Propuesta RCM	S/ 45,300.00	Tabla 21
Costos ocultos: Horas de participación de personal en realización de la mejora.	S/ 21,564.38	Tabla 22
Total	S/ 90,826.41	

Nota. Resumen de costos calculados en las tablas 20 al 22. Fuente: Elaboración propia.

2.6 Aspectos éticos

El presente estudio se realizó considerando los siguientes aspectos éticos:

- No se menciona el nombre de la empresa porque no se logró obtener autorización de la empresa, por tal motivo se respeta la privacidad de la información.
- Se respetó el uso de las Normas APA Séptima Edición para efectos de redacción y uso de referencias, de tablas y figuras.
- La información presentada corresponde a datos reales obtenidos de investigaciones realizadas y publicadas en repositorios y revistas reconocidas.
- Algunos datos se trabajaron como promedio, con el objetivo de sintetizar el problema y solución.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Resultados post aplicación de la mejora

A continuación se presentan los resultados post aplicación de la mejora, los cuales se obtuvieron durante el año 2021. En ese sentido la Tabla 24 muestra los resultados obtenidos en paradas por tipo de fallo post mejora, obteniendo que durante el año 2021 se tuvo 18 horas de paradas y 16.27 horas de micro paradas, haciendo un total de 34 horas.

Tabla 24

Paradas y micro paradas por tipo de fallo 2021 - Post mejora.

Mes	Paradas	Micro paradas
Ene	4 Hrs.	5 Hrs.
Feb	5 Hrs.	4 Hrs.
Mar	3 Hrs.	3 Hrs.
Abr	2 Hrs.	2 Hrs.
May	1 Hrs.	0.55 Hrs.
Jun	1 Hrs.	0.65 Hrs.
Jul	1 Hrs.	0.58 Hrs.
Ago	1 Hrs.	0.49 Hrs.
Set		
Oct		
Nov		
Dic		
Total	18 Hrs.	16.27
		34 Hrs.

Nota. Horas de paradas de equipo por tipo de parada 2021. Fuente: Elaboración propia.

Con la información recopilada en la Tabla 24, se obtuvo la Figura 18, el cual muestra el tiempo perdido para dar inicio a la producción (TPP) post aplicación de la mejora, el cual llega a 149 horas totales, de los cuales 18 horas corresponden a las horas mejoradas respecto a las 341 horas de la Tabla 9 para motores. Ver Figura 25.

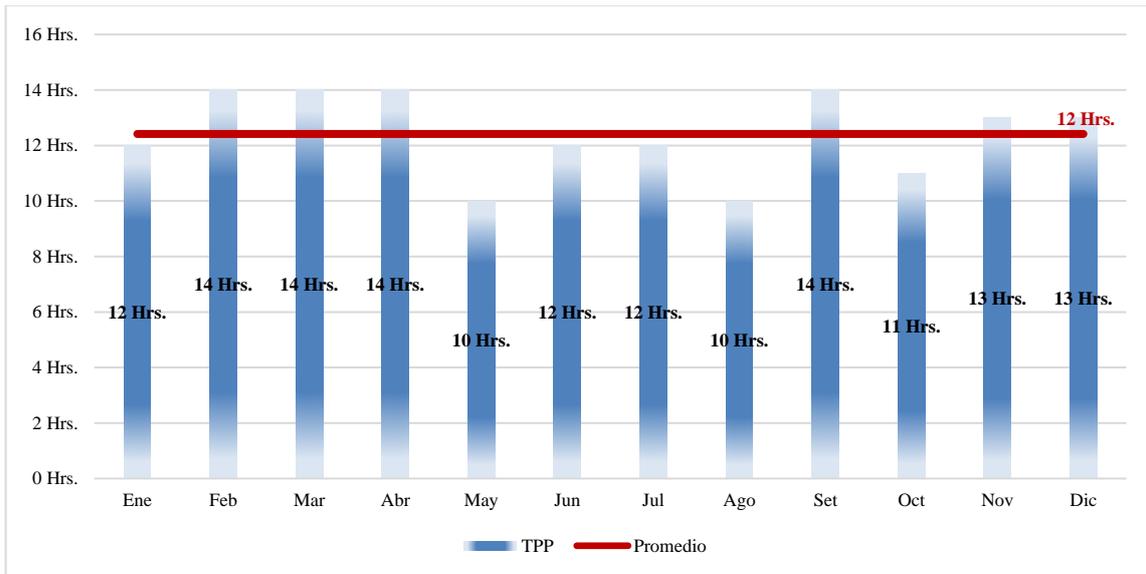


Figura 25. Tiempo perdido por parada de equipo (TPP) – Post Mejora.
 Nota. Análisis mensual realizado durante el año 2021. Fuente: Elaboración propia.

Considerando el tiempo perdido de la Figura 25, se determinó el tiempo productivo post mejora, el cual se obtuvo restando el TPP al tiempo disponible para producir (TDP), obteniendo así que el tiempo productivo (TDP-TPP), ver Figura 26 y en el Anexo 12, ver la tabla de datos que dan origen a esta figura.

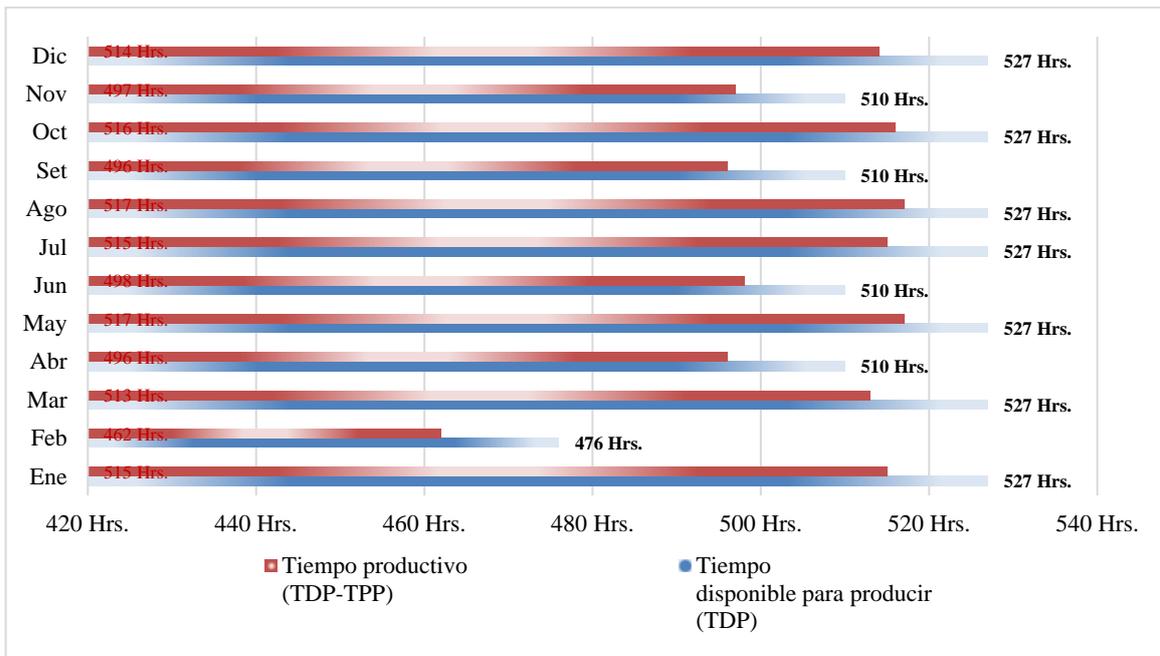


Figura 26. Cálculo del tiempo productivo – Post Mejora.
 Nota. Tiempo obtenido restando el TPP al TDP. Fuente: Elaboración propia.

Con el tiempo disponible para producir y el tiempo productivo, se obtiene la disponibilidad post mejora, de acuerdo a la siguiente fórmula establecida. Ver Figura 27 con el comportamiento de disponibilidad post mejora, el cual llegó a un promedio de 97.60%, y en el Anexo 13 ver la tabla de datos de los tiempos que dieron origen a la disponibilidad.

$$\% D = \frac{TDP - TPP}{TDP}$$

TDP: Tiempo disponible para producir.

TPP: Tiempo perdido para dar inicio a la producción.

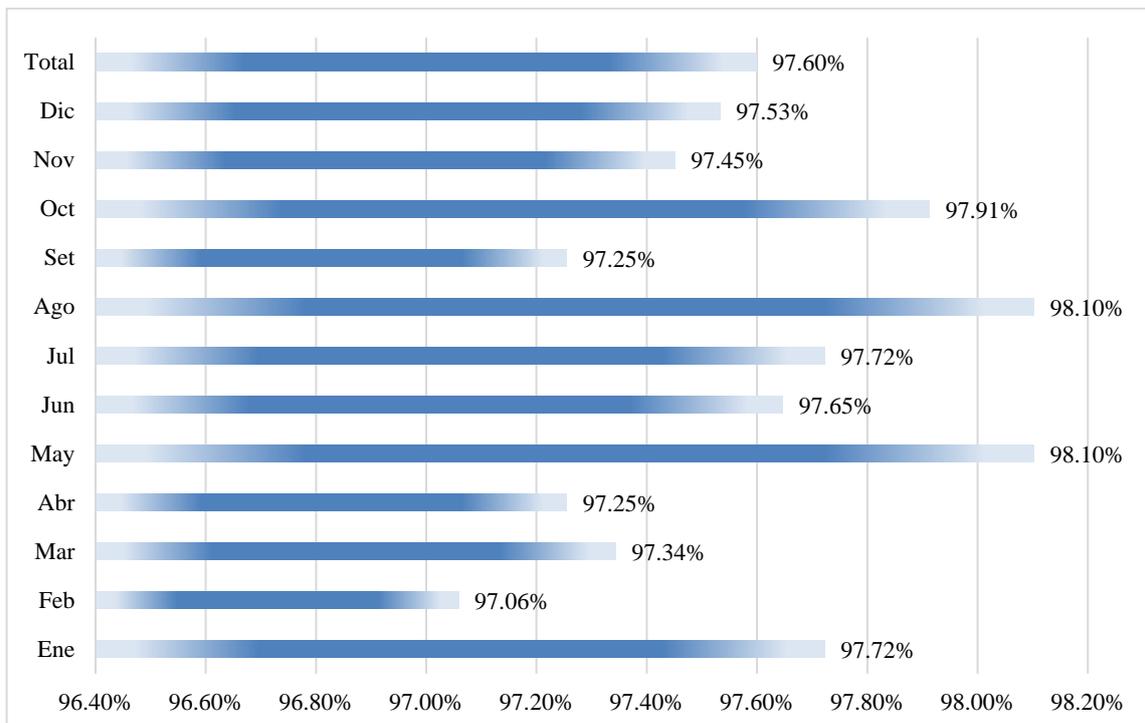


Figura 27. Disponibilidad – Post Mejora.

Nota. Promedio de disponibilidad del año 2021: 97.60%. Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que se tiene una producción de 194.47 Toneladas métricas por hora (TMH) y el tiempo productivo calculado en la Figura 19 , se presenta la Figura 28 con la capacidad total de producción (CTP) post mejora.

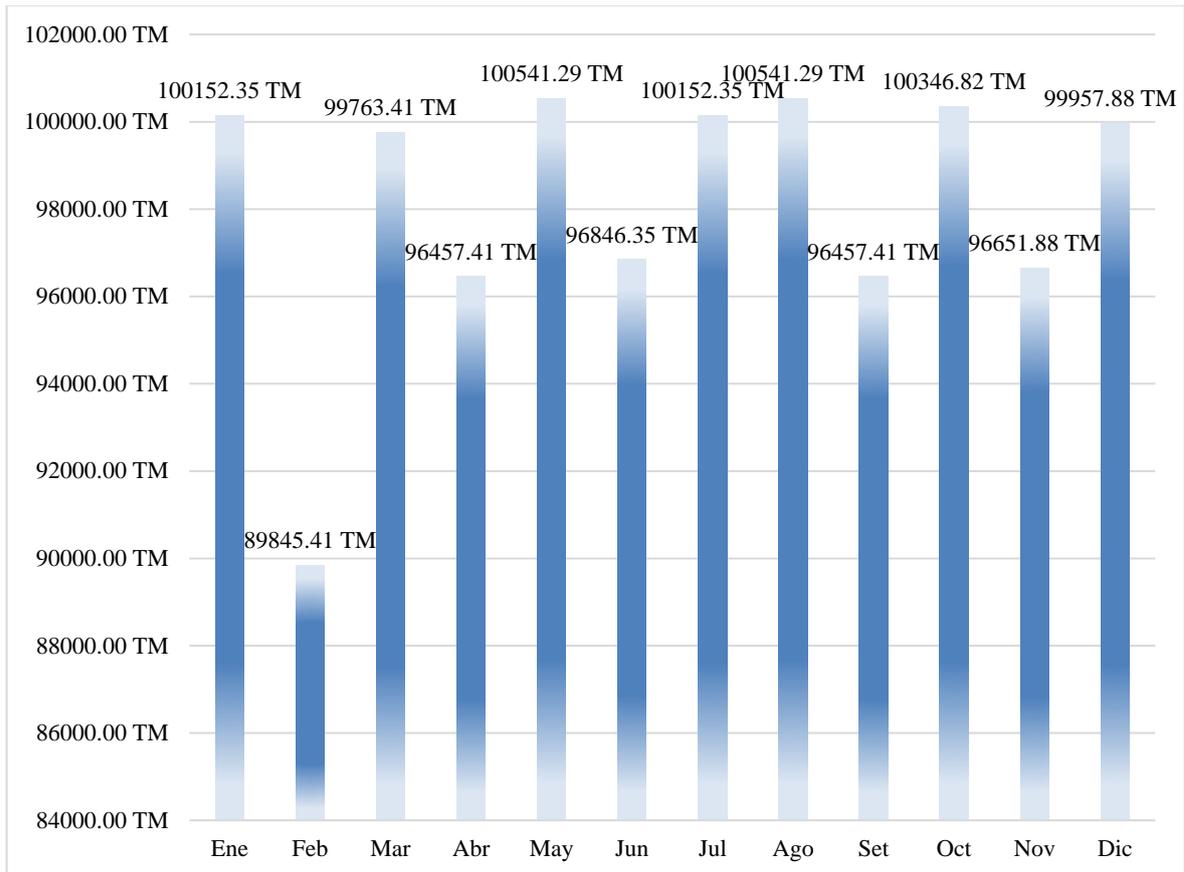


Figura 28. *Capacidad total de producción (CTP) – Post Mejora.*

Nota. Evolución de la capacidad de producción durante el año 2021. Fuente: Elaboración propia.

Conociendo la capacidad total de producción (CTP) y la producción real obtenida (PRO) se calcula el rendimiento, el cual se muestra en la Figura 29, con 98.11% de rendimiento promedio post mejora, el cual fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\% R = \frac{\text{PRO}}{\text{CTP}}$$

PRO: Producción real obtenida.

CTP: Capacidad total de producción.

En el Anexo 14 se presenta la tabla de datos correspondiente.

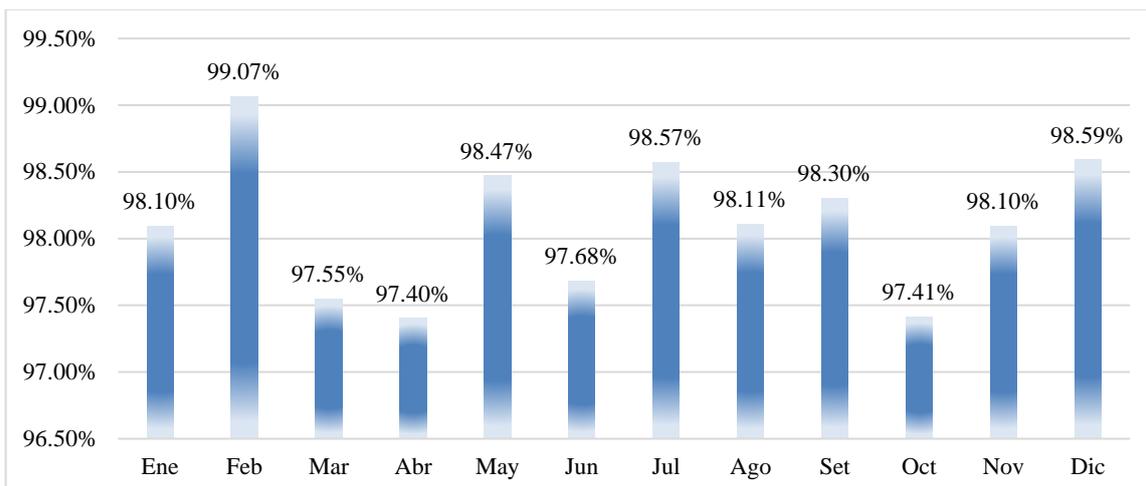


Figura 29. Rendimiento – Post Mejora.

Nota. Promedio de rendimiento del año 2021: 91.42%. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la calidad obtenida, el cual se ha determinado de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\% C = \frac{PC}{PT}$$

PC: Producción conforme

PT: Producción total

Ver en Anexo 15 la tabla de datos con la producción total (PT) y la producción conforme (PC), mientras que en la Figura 30 se presenta el resultado obtenido de porcentaje de calidad post mejora, el cual llegó a 75.57 %.

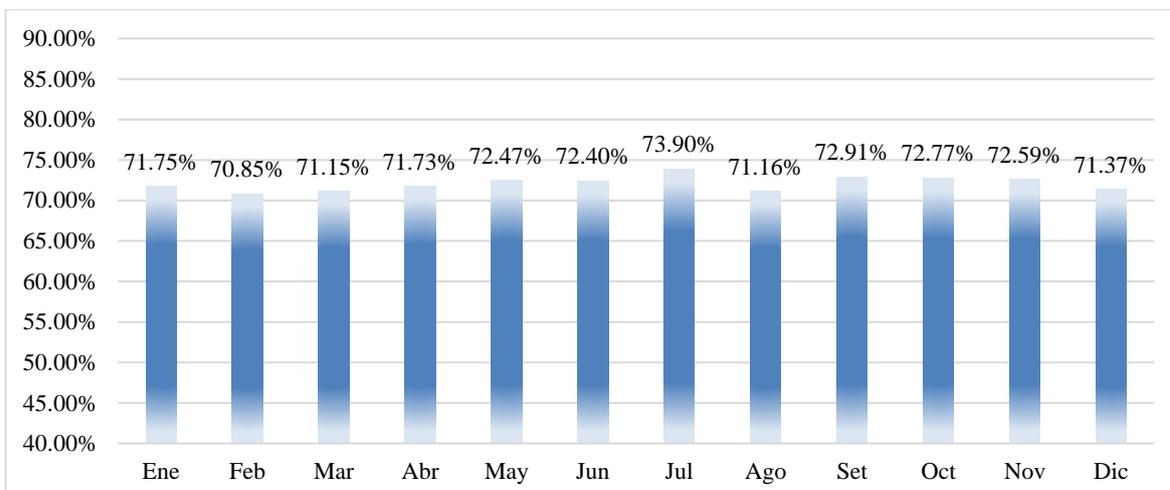


Figura 30. Indicador de Calidad – Post Mejora.

Nota. Evolución mensual de la calidad. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se presenta la Tabla 25 con el resultado del OEE post mejora, el cual es resultado de multiplicar la disponibilidad por rendimiento, por calidad, los cuales fueron determinados en las Figuras 27, 29 y 30.

Donde se observa que el OEE promedio post aplicación de la mejora de 72.36%, con un mínimo de 70.32% obtenido en el mes de noviembre 2021 y con un máximo de 74.07% obtenido en el mes de febrero del mismo año.

Tabla 25
Cálculo del OEE – Post Mejora.

Mes	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Ene	97.72%	98.10%	77.14%	73.95%
Feb	97.06%	99.07%	77.03%	74.07%
Mar	97.34%	97.55%	77.65%	73.74%
Abr	97.25%	97.40%	74.97%	71.02%
May	98.10%	98.47%	76.02%	73.44%
Jun	97.65%	97.68%	74.38%	70.95%
Jul	97.72%	98.57%	75.16%	72.40%
Ago	98.10%	98.11%	75.90%	73.05%
Set	97.25%	98.30%	76.65%	73.29%
Oct	97.91%	97.41%	74.41%	70.97%
Nov	97.45%	98.10%	73.56%	70.32%
Dic	97.53%	98.59%	73.99%	71.15%
Promedio	97.60%	98.11%	75.57%	72.36%
Mínimo	97.06%	97.40%	73.56%	70.32%
Máximo	98.10%	99.07%	77.65%	74.07%

Nota. Con valores máximos y mínimos por valor de componente del OEE. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Resultado comparativo: Antes y después de aplicar la mejora

Primero, se presenta la Figura 31 con el resumen de resultado obtenido de la disponibilidad antes y post aplicación de la mejora, donde se evidencia la mejora obtenida en el incremento de la disponibilidad en los 12 meses del año post mejora.

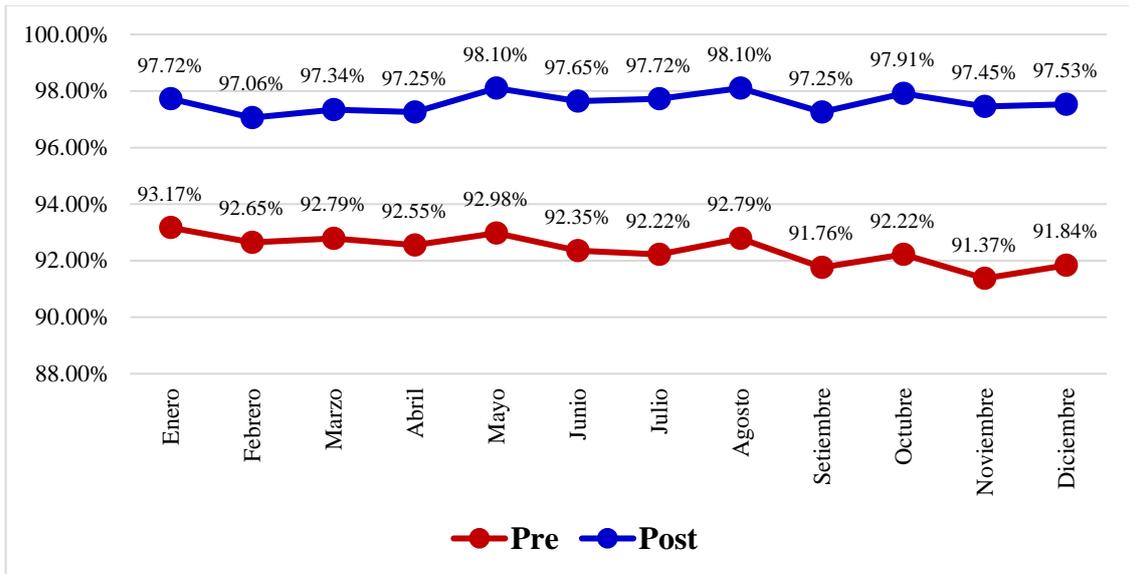


Figura 31. Disponibilidad Antes y post mejora.

Nota. Evolución comparativa mensual de la disponibilidad. Fuente: Elaboración propia.

Segundo, se presenta la Figura 32 con el resumen de resultado obtenido del rendimiento antes y post aplicación de la mejora, donde se evidencia la mejora obtenida en el incremento del rendimiento en los 12 meses del año post mejora.

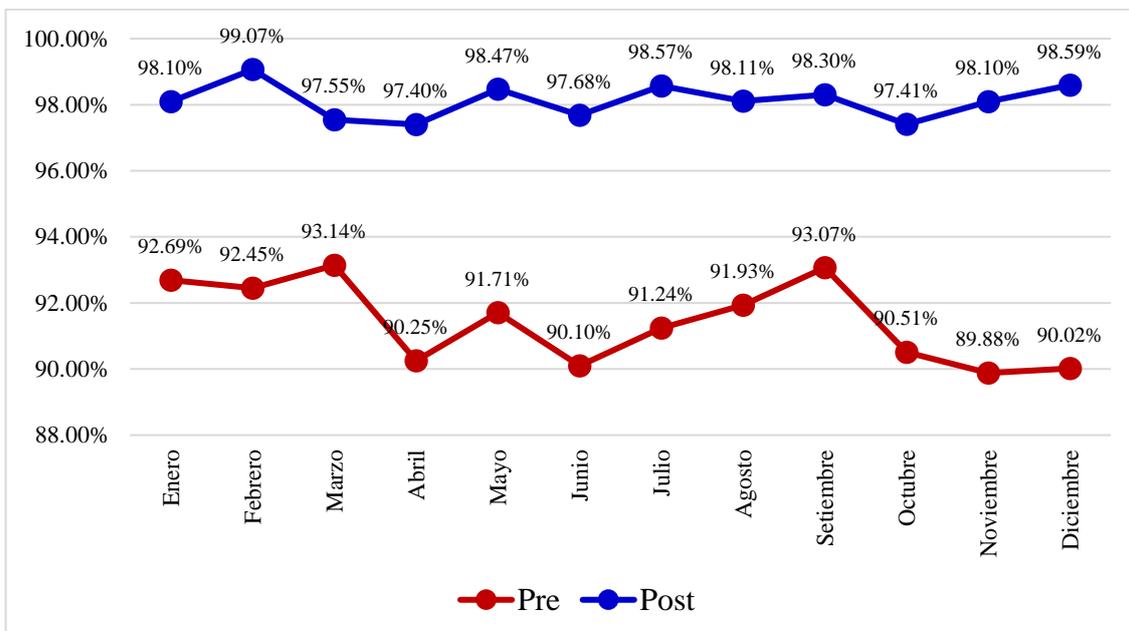


Figura 32. Rendimiento Antes y post mejora.

Nota. Evolución comparativa mensual del rendimiento. Fuente: Elaboración propia.

Tercero, se presenta la Figura 33 con el resumen de resultado obtenido de la calidad antes y post aplicación de la mejora, donde se evidencia la mejora obtenida en el incremento de la calidad en los 12 meses del año post mejora, aunque con una ligera caída en los últimos meses del año, debido a otras fallas de equipo.

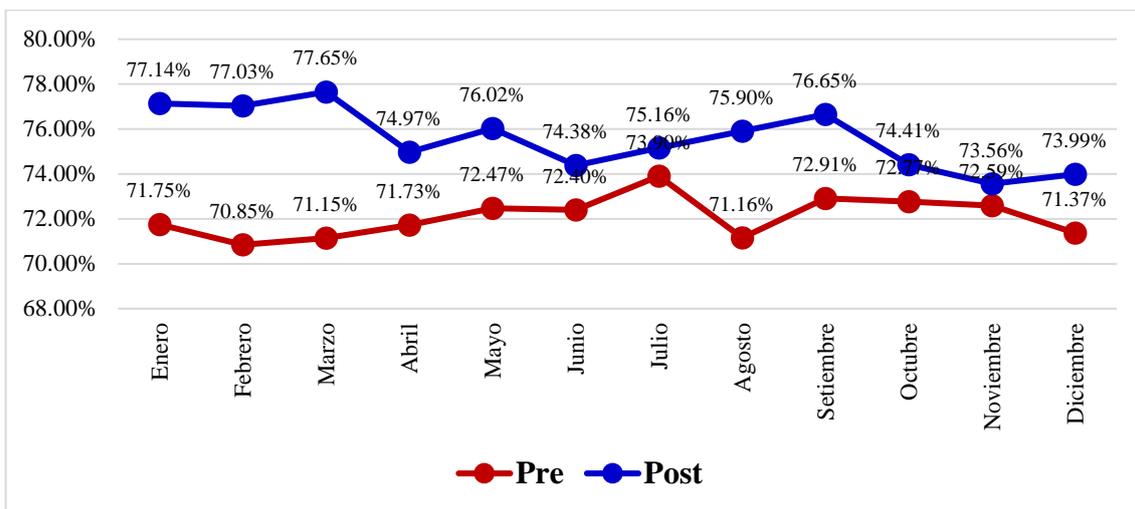


Figura 33. Calidad Antes y post mejora.

Nota. Evolución comparativa mensual de la calidad. Fuente: Elaboración propia.

Cuarto, se presenta la Figura 34 con el resumen de resultado obtenido del OEE antes y post aplicación de la mejora, donde se evidencia la mejora obtenida en el incremento del OEE en los 12 meses del año post mejora.

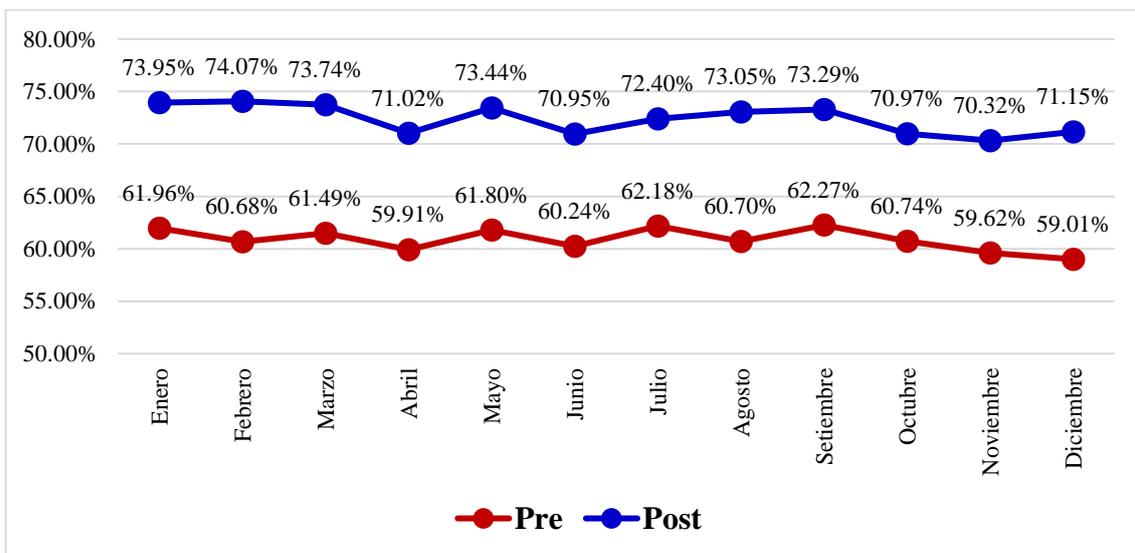


Figura 34. OEE Antes y post mejora.

Nota. Evolución comparativa mensual del OEE. Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente se presenta los resultados comparativos producto de la aplicación del RCM en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo. Es así que en Figura 35 se evidencia que la disponibilidad mejoró 5.21% post aplicación del RCM, pasando de 92.39% antes de la mejora a 97.60% post mejora.

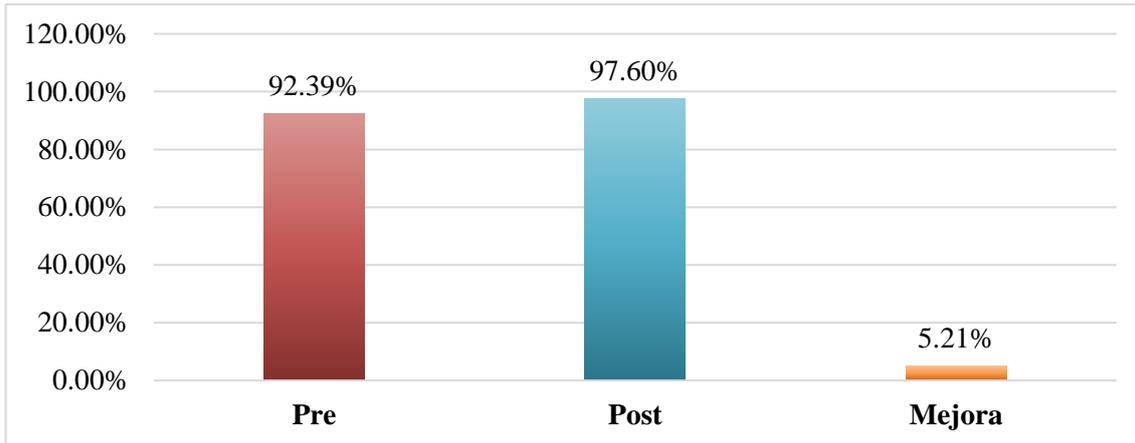


Figura 35. Resultado comparativo de la Disponibilidad.

Nota. Evolución comparativa mensual de la disponibilidad. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se presenta los resultados comparativos del rendimiento, observando una mejora de 6.69% post aplicación del RCM, pasando de 91.42% antes de la mejora a 98.11% post mejora.

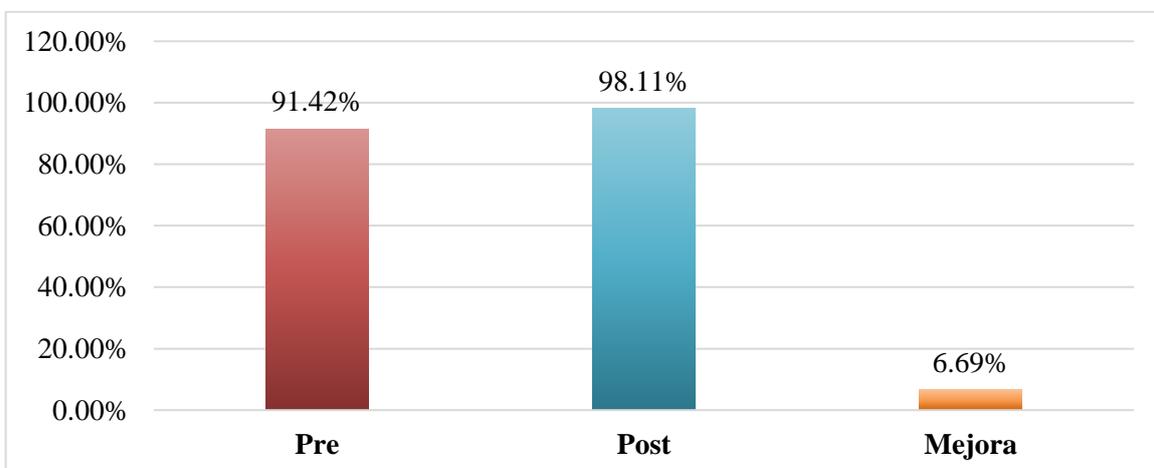


Figura 36. Resultado comparativo del Rendimiento.

Nota. Evolución comparativa mensual del rendimiento. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se presenta los resultados comparativos de la calidad, observando una mejora de 3.48% post aplicación del RCM, pasando de 72.09% antes de la mejora a 75.57% post mejora.

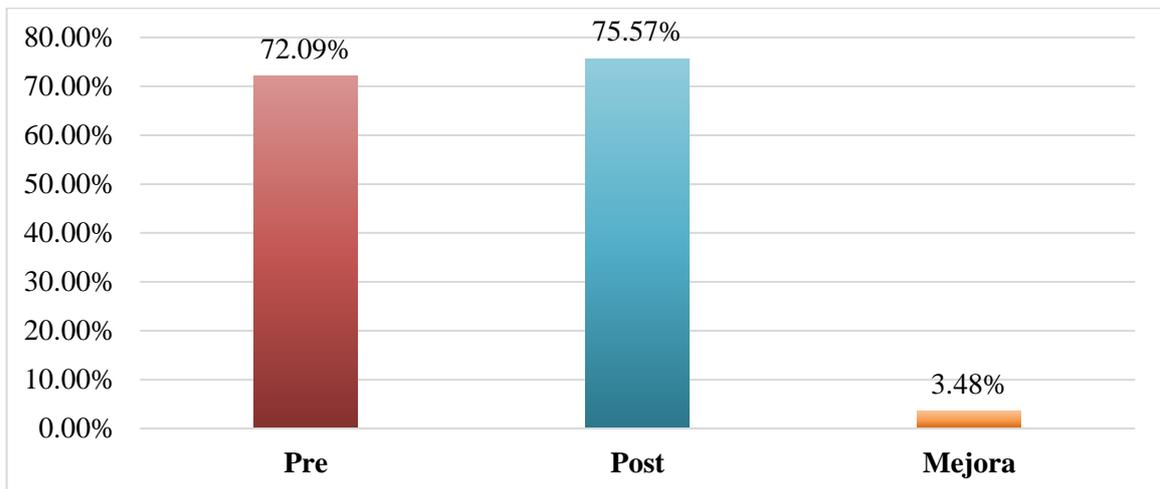


Figura 37. Resultado comparativo de la Calidad.

Nota. Evolución comparativa mensual de la calidad. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38 se presenta los resultados comparativos del OEE, observando una mejora de 11.47% post aplicación del RCM, pasando de 60.89% antes de la mejora a 72.36% post mejora.

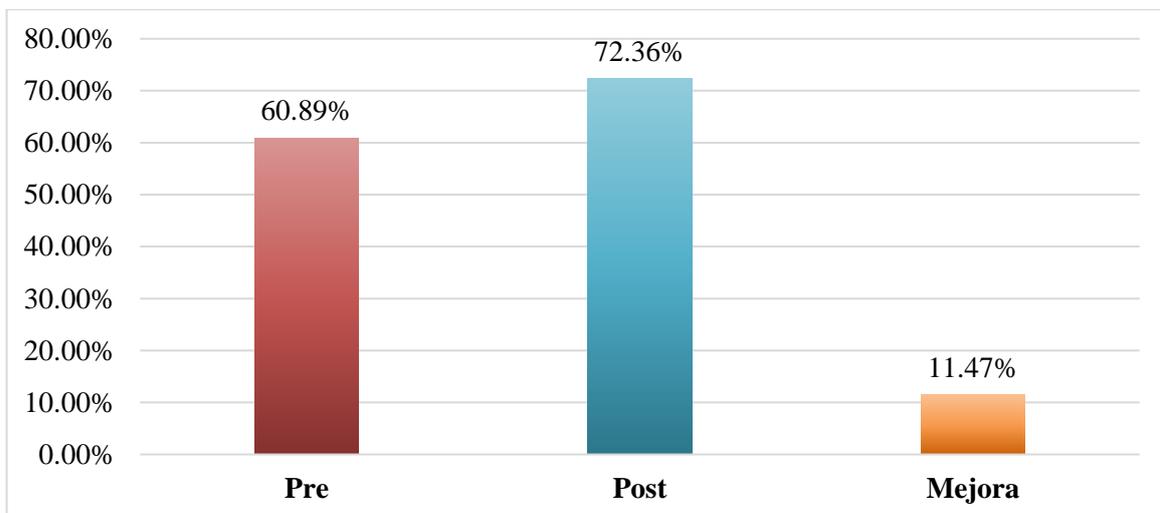


Figura 38. Resultado comparativo del OEE.

Nota. Evolución comparativa mensual del OEE. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se presenta el resumen de los resultados obtenidos en los indicadores de Disponibilidad, Rendimiento, Calidad y OEE, Ver Figura 39.

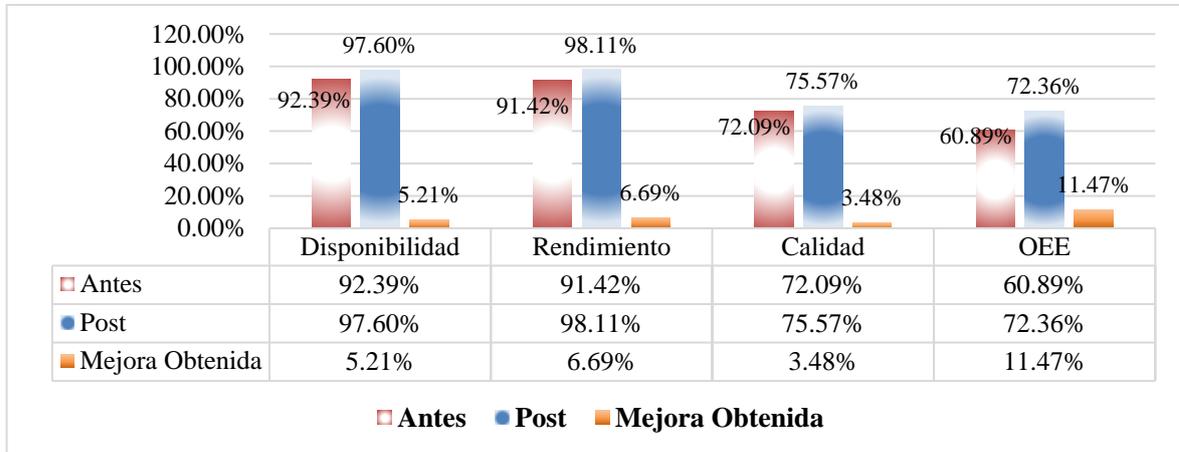


Figura 39. Resultado general de la aplicación del RCM en los indicadores del OEE. Nota. Evolución comparativa mensual del OEE. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Evaluación económica

Para realizar la evaluación económica se requiere calcular la inversión y el monto de recuperación, es decir aquel monto que se deja de perder por aplicar RCM. En la Tabla 23 se determinó que la inversión es S/. 90,826.41; a un tipo de cambio a la fecha de S/.3.97 se tiene una inversión de \$22,866.67.

En la Tabla 26 se procede a calcular el monto que se recupera de la pérdida por paradas de equipos por fallos, el cual consta de 4 ítems, donde el primer ítem corresponde a las horas perdidas por paradas y micro paradas determinados en las Tablas 9 y 10; como segundo ítem se tiene las horas perdidas una vez ejecutada la mejora, las cuales corresponden a las paradas y micro paradas post aplicación de la mejora, calculados en la Tabla 24, obteniendo así 428 horas de mejora como tercer ítem. Como cuarto ítem se tiene al costo por hora de ejecución de mantenimiento es cual equivale a \$ 80.00, información proporcionada por la empresa en estudio. Es así que se obtiene un costo de recuperación de: $428 \text{ horas} \times \$ 80.00 = \$\$ 34,246.52$

Tabla 26

Cálculo de recuperación de recuperación de pérdida.

Concepto		Detalle
Antes	Paradas de equipos	341 Hrs.
	Micro paradas de equipos	121 Hrs.
Mejora	Paradas de equipos	18 Hrs.
	Micro paradas de equipos	16 Hrs.
Total horas mejoradas		428 Hrs.
Costo/Hora realizar mantenimiento correctivo		\$ 80.00
Recuperación de costos de realizar correctivos		\$ 34,246.52

Nota. Recuperación considerado como ingreso para efectos de flujo de caja. Fuente: Elaboración propia.

Con la información calculada en las Tablas 20, 21, 22 se tiene una inversión total de S/. 90,826.41 y Tabla 26 de recuperación de la inversión de \$34,246.52, se procede a realizar el Flujo de caja por la aplicación de RCM, para lo cual se consideraron los siguientes supuestos:

- El Tipo de cambio para convertir de soles a dólares es de 3.97, vigente a la fecha, Octubre 2022 (SUNAT, 2022).
- Inflación anual promedio al cierre del mes de setiembre de 8.53% para el segundo año de proyecto (BCRP, 2022).
- Crecimiento de inflación anual de 0.30% a partir del tercer año.
- Impuesto a la renta igual a 29.5% (SUNAT, 2022).
- Se considera como costos operativos a los costos anuales que se deben realizar en: Programa de mantenimiento RCM propuesto y capacitación, descritos en la Tabla 21, los cuales suman S/. 20,500.00, considerando S/. 3.97 de tipo de cambio se tiene un costo operativo anual de \$. 5163.73
- La empresa decide no recurrir a financiamiento, y otorga como información su Costo Promedio Ponderado de Capital igual a 14.50%, valor que se toma para efectos del COK (Costo de oportunidad).

Ver flujo de caja en la Tabla 27.

Tabla 27
Flujo de caja del proyecto.

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Recuperación por aplicación del RCM		\$ 34,246.52	\$ 37,167.75	\$ 37,279.25	\$ 37,391.09	\$ 37,503.27
Costos operativos por ejecutar RCM		\$ 5,163.73	\$ 5,604.19	\$ 5,621.01	\$ 5,637.87	\$ 5,654.78
Utilidad Neta		\$ 29,082.80	\$ 31,563.56	\$ 31,658.25	\$ 31,753.22	\$ 31,848.48
Impuesto a la renta (29.5%)		\$ -8,579.42	\$ -9,311.25	\$ -9,339.18	\$ -9,367.20	\$ -9,395.30
Flujo de efectivo neto		\$ 20,503.37	\$ 22,252.31	\$ 22,319.07	\$ 22,386.02	\$ 22,453.18
Flujo de inversiones	\$ -22,866.67					
Flujo de efectivo libre	\$ -22,866.67	\$ 20,503.37	\$ 22,252.31	\$ 22,319.07	\$ 22,386.02	\$ 22,453.18
Flujo de efectivo Acumulado		\$ 20,503.37	\$ 42,755.68	\$ 65,074.74	\$ 87,460.77	\$ 109,913.95

Nota. Flujo de caja positivo. Fuente: Elaboración propia.

Se procede a determinar el VAN y TIR, obteniendo así la Tabla 28 con un resultado de VAN igual a \$ 51,315.05, dado que este valor es mayor a cero, se dice que el proyecto es viable. Por otro lado se observa un TIR de 89.86%, el cual es mayor al COK (14.50%), por tanto se dice que el proyecto es rentable.

Tabla 28

Determinación del VAN-TIR de la aplicación del RCM.

Concepto	Año 0 Inversión	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Valor presente	\$ -22,866.67	\$17,906.87	\$16,973.21	\$14,868.24	\$13,024.32	\$11,409.07

CPPC	VAN	TIR
14.50%	\$ 51,315.05	89.86%

Nota. Resultados positivos que indican que el proyecto es rentable y viable. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se calcula el beneficio costo, el cual es igual a 2.244, es decir por cada dólar que se invierte en la aplicación del RCM, la empresa en estudio gana \$ 1.244.

$$\text{Beneficio-Costo} = \frac{\$ 51,315.05}{\$ 22,866.67} = 2.244$$

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Limitaciones:

Entre las principales limitaciones encontradas en el desarrollo del presente trabajo de tesis, se tiene:

- La falta de autorización de la empresa, debido a la dificultad de acceso a los accionistas de la empresa para conseguir la respectiva autorización; Por ello se trató datos de una empresa minera, sin embargo no se detalla el nombre debido a que no se tiene autorización de la misma.
- Complejidad de encontrar antecedentes bajo la propuesta planteada en este trabajo de tesis, es decir con ambas variables en el mismo sector y tipo de equipos en estudio, sin embargo se logró ubicar antecedentes con las variables en estudio, lo cual sirvió de refuerzo en el desarrollo del presente trabajo.

4.2 Interpretación comparativa:

- De acuerdo a los hallazgos encontrados se determina que: La aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) en una empresa que brinda servicio de mantenimiento preventivo mejora la Eficiencia de Equipos (OEE) de una empresa del sector minero, Lima 2022.
- Hallazgos que coincide con los resultados obtenido por Chacaliza y Estela (2021) y Puente (2021), quienes lograron mejora la eficiencia global de equipos en 9%, mientras que en la presente investigación la mejora del OEE llegó a 11.47%
- Respecto al indicador disponibilidad, se logró mejorar 5.21%, de similar

forma Morales (2019), logró mejorar la disponibilidad 6.5% aplicando RCM, mientras que Padilla (2020), sólo logró mejorar la disponibilidad en 3.95%, sin embargo, Chacaliza y Estela (2021), Barsallo (2020) y Maya (2018) lograron mejorar la disponibilidad entre 8 y 10% con la aplicación del RCM.

- Respecto al indicador rendimiento, se logró mejorar 6.69%, de forma similar Barsallo (2020) logra mejorar el rendimiento a 78% gracias a la aplicación de RCM, aunque el presente trabajo mejoró el rendimiento hasta 98.11%.
- Respecto al indicador calidad, se logró mejorar 3.48%, llegando a 75.57%. De forma similar Gastelo (2017), y Barsallo (2020), aunque este último aplicando RCM logró mejorar el indicador de calidad a 68%.

4.3 Implicancias

Entre las principales limitaciones encontradas en el desarrollo del presente trabajo de tesis, se tiene:

- Es importante que la aplicación de la propuesta se ejecute de forma constante, de acuerdo a lo establecido en el presente trabajo, de lo contrario implicaría que exista algún riesgo de que la mejora tenga caídas en el resultado esperado.
- Considerando los resultados obtenidos de 92.39% a 97.60% en el indicador de la disponibilidad, mejora que implica 5.21 %, gracias a que el rendimiento pasó de 91.42% a 98.11%, lo cual implica que la aplicación del RCM es vital para el logro del incremento del OEE.

4.4 Conclusiones

- Se logró diagnosticar la situación actual del sector minero en el mantenimiento preventivo de equipos, con lo cual se logró identificar que los motores ocasionaban 341 horas de paradas de máquina afectando a la disponibilidad de equipos, la cual no superaba el 92.39%, así mismo el rendimiento no superaba el 91.42%, la calidad se encontraba en 72.09 como máximo, llegando a 60.89% de eficiencia global de equipos (OEE).
- Se logró determinar los componentes de fallo de equipos que generan paradas de máquina, con lo cual se logró proponer la acción de mejora y el plan de mantenimiento preventivo correspondiente.
- Se logró diseñar la aplicación del RCM para los componentes de fallos en equipos que generan paradas de máquinas, con lo cual se logró mejorar los indicadores del OEE, es así que la disponibilidad pasó de 92.39% a 97.60% con una mejora del 5.21%. Mientras que el rendimiento paso de 91.42% a 98.11%, con una mejora de 6.69%. La calidad pasó de 72.09% a 75.57%, con una mejora de 3.48%. Finalmente el OEE pasó de 60.89% a 72.36% con una mejora de 11.47%
- Se logró cuantificar la inversión requerida para aplicar el RCM, el cual fue de S/. 90,826.41, equivalente a \$ 22,866.67 a un tipo de cambio de S/. 3.97. Inversión conformada por costo de mantenimiento de S/. 23,962.03, costo de aplicar la propuesta RCM por S/ 45,300.00 y costos ocultos por S/. 21,561.38.

REFERENCIAS

- ACMPEAN. (2021, 05 17). Obtenido de <https://acmplean.com/actualidad/que-es-el-oee-y-por-que-es-importante-medirlo-y-analizarlo/>
- Amambal, F., & Huatay, C. (2018). *Diseño de un plan de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad mecánica de la maquinaria pesada en la empresa Martinez Contratistas e Ingeniería S.A. - Arequipa, 2018*. Para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/14562>
- Anaya, G. (2020). *Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro - Antioquia*. Para optar al título de Magister en Administración de Empresas MBA, Universidad EAN, Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10058/AnayaGerman2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Andrade, R., & Ramos, M. (2020). *Propuesta de la metodología RCM en la gestión de mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de la Línea de Chancado Primario en una empresa minera*. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/655036>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Grupo editorial Patria.
- Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). (2022, 08). <https://www.bcrp.gob.pe/>, Reporte de inflación. Obtenido de <https://www.bcrp.gob.pe/publicaciones/reportes-de-inflacion.html>

- Barsallo, M. (2020). *Gestión del mantenimiento utilizando la herramienta RCM para aumentar la eficiencia de los vehículos de la empresa Induamérica Servicios Logísticos S.A. - Lambayeque*. Para optar al Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12802/8251>
- Bnamericas. (2021, 12 20). *Bnamericas*. Obtenido de <https://www.bnamericas.com/es/noticias/sector-minero-peruano-debiera-crecer-mas-que-la-economia-local-en-2022>
- Camargo, J. (2021). *Propuesta de mejora del servicio de mantenimiento de maquinarias pesadas mediante la aplicación de la herramienta TPM en la empresa Ferreyros S. A.* Para optar al Título de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/29630>
- Cárdenas, C., & Rodríguez, F. (2017). *Propuesta de mejora para la disponibilidad de equipos de transporte de mineral en una empresa minera*. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/621274>
- Castelo, H. (2017). *Modelo de gestión de mantenimiento de producción total y su incidencia en el rendimiento operacional en el área de extrusión de balanceados para animales*. Para obtener el Grado Académico de Magister en Gestión de Operaciones, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26702/1/Tesis_%20t1331mgo.pdf
- Chacaliaza, Y., & Estela, E. (2021). *Aplicación de la metodología RCM mantenimiento centrado en confiabilidad para mejorar la disponibilidad de equipos de carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca 2021*. Para optar el título

profesional de Ingeniero de minas, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/27344>

Chillitupa, M. (2018). *MECATEC - Mecánica y tecnología*. Obtenido de <https://www.maquinariaspesadas.org/blog/2534-manual-motores-clasificacion-partes-estructura-sistemas-componentes>

Corrales, L., Lambán, M., Hernandez, M., & Royo, J. (2020, 09). Overall equipment effectiveness: Systematic literature review and overview of different approaches. *Applied Sciences*, 10(18), 20. doi:<https://doi.org/10.3390/app10186469>

Díaz, J. (2017). *Implementación de la metodología mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para los equipos mineros a cargo del área de mantenimiento de la empresa minera S.A.S*. Para obtener el título de Ingeniero Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Obtenido de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5240/digital_36246.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fortuny, J., Ruiz, P., & Luján, I. (2021, 01 15). Estudio de la aplicabilidad de lean management en la industria minera. *Revista DYO*, 73(2021), 96-106. doi:<https://doi.org/10.37610/dyo.v0i73.595>

Gackowiec, P., Podobinska, M., Brzychczy, E., Kühnbach, C., & Özver, T. (2020, 10 4). Review of Key Performance Indicators for Process. *Energies*, 13(5169), 20. doi:<https://doi.org/10.3390/en13195169>

Gallardo, H. (2021). *Diseño de mantenimiento productivo total para incrementar la eficiencia operacional de los vehículos livianos, de la empresa L&S Caja Corporations E. I. R. L., Cajamarca, 2020*. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/27690>

Gálvez, J. (2021, 03). *Minem*. Obtenido de

[http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/VARIOS/PDAC/PERU%20PDAC%20\(SP\).pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/VARIOS/PDAC/PERU%20PDAC%20(SP).pdf)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*

(Sexta ed.). Distrito Federal, México: McGRAW-HILL. Recuperado el 02 18, 2021

IIMP. (2021, 10). *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. Obtenido de

<https://www.iimp.org.pe/actualidad-minera/hay-10-proyectos-por-us-2,580-millones-cuyos-eia-se-pueden-aprobar-en-2022>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Producción nacional*. Informe

Técnico, Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Lima. Obtenido de

https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/12-informe-tecnico-produccion-nacional-oct-2021.pdf

Kishimoto, F. (2021, 10 15). *Esan*. Obtenido de

<https://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2021/10/15/sector-minero-cuales-son-las-proyecciones-para-el-2022/>

KOMATSU. (2020). *KOMATSU MIYSUI*. Obtenido de

https://www.komatsulatioamerica.com/chile/wp-content/uploads/sites/3/2016/09/HD325_405-7-ES.pdf

KOMATSU. (2023, 02). *KOMATSU MITSUI*. Obtenido de

<http://komatsu.pe/index.php/equipos/nuevos/komatsu/construccion/retro-excavadoras>

KOMATSU. (2023, 02). *KOMATSU MITSUI*. Obtenido de

https://www.komatsulatioamerica.com/peru/categoria_productos/excavadoras/

Lama, O., & Alayo, J. (2021). *Modelo de implementación de mantenimiento lean para*

incrementar la Eficiencia Global de los Equipos mineros de acarreo través del

Mantenimiento Productivo Total y mejora continua. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.

Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/655656>

Matayoshi, G., & Crippa, G. (2017). *Propuesta de implementación de mantenimiento basado en confiabilidad en una empresa de servicios de mantenimiento de palas hidráulicas en una mina.* Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/621268>

Maya, J. (2018). *Aplicación de RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM.* Para optar al título de Magister en Ingeniería Mecánica, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/64727>

Mayorca, R. (2019). *Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una PYME utilizando el RCM.* Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/625619>

Morales, M. (2019). *Evaluación de la implementación de la metodología RCM en los harneros vibratorios de la planta concentradora minera Caserones.* Para optar al título de Ingeniero Civil Industrial, Universidad Andrés Bello, Concepción, Chile. Obtenido de https://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/15494/a125558_Morales_M_Evaluacion_de_la_implementacion_de_2019.pdf?sequence=1

Moubray, J. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (Segunda ed., Vol. 2). United Kingdom.

Padilla, H. (2020). *Aplicación de un plan de mejora en la gestión de maquinarias y*

equipos basado en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la empresa Construmaq Perú S.A., Lima 2019. Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/25994>

Piechnicki, F., Loures, E., & Santos, E. (2017, 06 30). A Conceptual Framework of Knowledge Conciliation to Decision Making Support in RCM Deployment. *Procedia Manufacturing*, 11, 1135-1144.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.235>

Puente, F. (2021). *Propuesta de un modelo de plan de mantenimiento que permite mejorar la disponibilidad física en los camiones eléctricos Komatsu 730E, basado en metodología TPM-RCM.* Para optar el título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/657011>

Quinde, B. (2021, 10 27). *Tiempo minero.* Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/inversion-minera-creceria-mas-de-8-este-ano-afirma-el-bcrp/>

Salazar, J. (2021, 06 09). *CAMIPER.* Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/banco-mundial-sube-la-proyeccion-de-crecimiento-de-peru-y-chile/>

Santos, J., Kuczynski, P., & Tinelli, M. (2019, 09 12). *DW Made for minds.* Obtenido de <https://www.dw.com/es/miner%C3%ADa-en-am%C3%A9rica-latina-no-hay-desarrollo-sin-sostenibilidad/a-50407162>

Seguridad minera. (2021, 02 18). *Seguridad minera.* Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/mantenimiento-minero-y-cebrero/>

Seguridad minera. (2021, 06 02). *Seguridad minera*. Obtenido de

<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/estrategia-correcta-que-tipo-de-mantenimiento-implementar/>

Statista. (2021, 07 02). *Statista*. Obtenido de

<https://es.statista.com/estadisticas/1131785/indice-atraccion-inversiones-empresas-mineras-america-latina/>

Statista. (2022). *Statista*. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/1139754/paises-lideres-en-la-produccion-de-estano-en-el-mundo/>

SUNAT. (2022, 10 07). *Superintendencia Nacional de Administración Tributaria*.

Obtenido de <https://e-consulta.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tcS01Alias>

SUNAT. (2022, 03 26). *Superintendencia Nacional de Administración Tributaria*.

Obtenido de <https://www.sunat.gob.pe/legislacion/renta/tuo.html>

ANEXOS

ANEXO N°1. Disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE mensual 2020.

Mes	Disponibilidad (D)	Rendimiento (R)	Calidad (C)	OEE
Enero	93.17%	92.69%	71.75%	61.96%
Febrero	92.65%	92.45%	70.85%	60.68%
Marzo	92.79%	93.14%	71.15%	61.49%
Abril	92.55%	90.25%	71.73%	59.91%
Mayo	92.98%	91.71%	72.47%	61.80%
Junio	92.35%	90.10%	72.40%	60.24%
Julio	92.22%	91.24%	73.90%	62.18%
Agosto	92.79%	91.93%	71.16%	60.70%
Setiembre	91.76%	93.07%	72.91%	62.27%
Octubre	92.22%	90.51%	72.77%	60.74%
Noviembre	91.37%	89.88%	72.59%	59.62%
Diciembre	91.84%	90.02%	71.37%	59.01%
Promedio	92.39%	91.42%	72.09%	60.89%
Mínimo	91.37%	89.88%	70.85%	59.01%
Máximo	93.17%	93.14%	73.90%	62.27%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°5. Registro de producción para determinar el rendimiento.

Ítem	Capacidad Total de Producción (CTP)	Producción Real Obtenida (PRO)	%R
Total			

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°7. Registro de producción para determinar el OEE.

Ítem	Disponibilidad	Rendimiento	Calidad	OEE
Total				

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°8. Cálculo del tiempo productivo (TDP-TPP).

Mes	Tiempo disponible para producir (TDP)	TPP	Tiempo productivo (TDP-TPP)
Ene	527 Hrs.	36 Hrs.	491 Hrs.
Feb	476 Hrs.	35 Hrs.	441 Hrs.
Mar	527 Hrs.	38 Hrs.	489 Hrs.
Abr	510 Hrs.	38 Hrs.	472 Hrs.
May	527 Hrs.	37 Hrs.	490 Hrs.
Jun	510 Hrs.	39 Hrs.	471 Hrs.
Jul	527 Hrs.	41 Hrs.	486 Hrs.
Ago	527 Hrs.	38 Hrs.	489 Hrs.
Set	510 Hrs.	42 Hrs.	468 Hrs.
Oct	527 Hrs.	41 Hrs.	486 Hrs.
Nov	510 Hrs.	44 Hrs.	466 Hrs.
Dic	527 Hrs.	43 Hrs.	484 Hrs.
Total	6205 Hrs.	472 Hrs.	5733 Hrs.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°9. Cálculo de la disponibilidad 2020.

Mes	Tiempo disponible para producir (TDP)	Tiempo productivo (TDP-TPP)	Disponibilidad (%D)
Ene	527 Hrs.	491 Hrs.	93.17%
Feb	476 Hrs.	441 Hrs.	92.65%
Mar	527 Hrs.	489 Hrs.	92.79%
Abr	510 Hrs.	472 Hrs.	92.55%
May	527 Hrs.	490 Hrs.	92.98%
Jun	510 Hrs.	471 Hrs.	92.35%
Jul	527 Hrs.	486 Hrs.	92.22%
Ago	527 Hrs.	489 Hrs.	92.79%
Set	510 Hrs.	468 Hrs.	91.76%
Oct	527 Hrs.	486 Hrs.	92.22%
Nov	510 Hrs.	466 Hrs.	91.37%
Dic	527 Hrs.	484 Hrs.	91.84%
Total	6205 Hrs.	5733 Hrs.	92.39%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°10. Cálculo del rendimiento 2020.

Mes	Capacidad Total de Producción (CTP)	Producción Real Obtenida (PRO)	Rendimiento(%R)
Ene	95485.06 TM	88509.22 TM	92.69%
Feb	85761.53 TM	79284.94 TM	92.45%
Mar	95096.12 TM	88574.47 TM	93.14%
Abr	91790.12 TM	82839.93 TM	90.25%
May	95290.59 TM	87391.60 TM	91.71%
Jun	91595.65 TM	82523.41 TM	90.10%
Jul	94512.71 TM	86234.97 TM	91.24%
Ago	95096.12 TM	87423.21 TM	91.93%
Set	91012.24 TM	84704.35 TM	93.07%
Oct	94512.71 TM	85541.31 TM	90.51%
Nov	90623.29 TM	81451.78 TM	89.88%
Dic	94123.76 TM	84729.37 TM	90.02%
Total	1114899.88 TM	1019208.56 TM	91.42%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°11. Cálculo de la calidad 2020.

Mes	Producción Total (PT)	Producción Conforme (PC)	Calidad (%C)
Ene	88509.22 TM	63504.07 TM	71.75%
Feb	79284.94 TM	56170.89 TM	70.85%
Mar	88574.47 TM	63020.57 TM	71.15%
Abr	82839.93 TM	59418.64 TM	71.73%
May	87391.60 TM	63335.13 TM	72.47%
Jun	82523.41 TM	59743.74 TM	72.40%
Jul	86234.97 TM	63730.81 TM	73.90%
Ago	87423.21 TM	62207.13 TM	71.16%
Set	84704.35 TM	61755.14 TM	72.91%
Oct	85541.31 TM	62246.57 TM	72.77%
Nov	81451.78 TM	59126.78 TM	72.59%
Dic	84729.37 TM	60474.03 TM	71.37%
Total	1019209 Hrs.	734733 Hrs.	72.09%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°12. Cálculo del tiempo productivo (TDP-TPP) – Post Mejora.

Mes	Tiempo disponible para producir (TDP)	TPP	Tiempo productivo (TDP-TPP)
Ene	527 Hrs.	12 Hrs.	515 Hrs.
Feb	476 Hrs.	14 Hrs.	462 Hrs.
Mar	527 Hrs.	14 Hrs.	513 Hrs.
Abr	510 Hrs.	14 Hrs.	496 Hrs.
May	527 Hrs.	10 Hrs.	517 Hrs.
Jun	510 Hrs.	12 Hrs.	498 Hrs.
Jul	527 Hrs.	12 Hrs.	515 Hrs.
Ago	527 Hrs.	10 Hrs.	517 Hrs.
Set	510 Hrs.	14 Hrs.	496 Hrs.
Oct	527 Hrs.	11 Hrs.	516 Hrs.
Nov	510 Hrs.	13 Hrs.	497 Hrs.
Dic	527 Hrs.	13 Hrs.	514 Hrs.
Total	6205 Hrs.	149 Hrs.	6056 Hrs.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°13. Cálculo de la disponibilidad 2021 – Post Mejora.

Mes	Tiempo disponible para producir (TDP)	Tiempo productivo (TDP-TPP)	Disponibilidad (%D)
Ene	527 Hrs.	515 Hrs.	97.72%
Feb	476 Hrs.	462 Hrs.	97.06%
Mar	527 Hrs.	513 Hrs.	97.34%
Abr	510 Hrs.	496 Hrs.	97.25%
May	527 Hrs.	517 Hrs.	98.10%
Jun	510 Hrs.	498 Hrs.	97.65%
Jul	527 Hrs.	515 Hrs.	97.72%
Ago	527 Hrs.	517 Hrs.	98.10%
Set	510 Hrs.	496 Hrs.	97.25%
Oct	527 Hrs.	516 Hrs.	97.91%
Nov	510 Hrs.	497 Hrs.	97.45%
Dic	527 Hrs.	514 Hrs.	97.53%
Total	6205 Hrs.	6056 Hrs.	97.60%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°14. Cálculo del rendimiento 2021 – Post Mejora.

Mes	Capacidad Total de Producción (CTP)	Producción Real Obtenida (PRO)	Rendimiento(%R)
Ene	100152.35 TM	98245.24 TM	98.10%
Feb	89845.41 TM	89006.28 TM	99.07%
Mar	99763.41 TM	97317.66 TM	97.55%
Abr	96457.41 TM	93952.32 TM	97.40%
May	100541.29 TM	99004.67 TM	98.47%
Jun	96846.35 TM	94600.99 TM	97.68%
Jul	100152.35 TM	98720.81 TM	98.57%
Ago	100541.29 TM	98639.76 TM	98.11%
Set	96457.41 TM	94821.83 TM	98.30%
Oct	100346.82 TM	97750.85 TM	97.41%
Nov	96651.88 TM	94811.48 TM	98.10%
Dic	99957.88 TM	98549.60 TM	98.59%
Total	1177713.88 TM	1155421.50 TM	98.11%

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N°15. Cálculo de la calidad 2021 – Post Mejora.

Mes	Producción Total (PT)	Producción Conforme (PC)	Calidad (%C)
Ene	98245.24 TM	75788.86 TM	77.14%
Feb	89006.28 TM	68561.76 TM	77.03%
Mar	97317.66 TM	75568.85 TM	77.65%
Abr	93952.32 TM	70433.31 TM	74.97%
May	99004.67 TM	75264.16 TM	76.02%
Jun	94600.99 TM	70364.89 TM	74.38%
Jul	98720.81 TM	74198.90 TM	75.16%
Ago	98639.76 TM	74868.78 TM	75.90%
Set	94821.83 TM	72685.03 TM	76.65%
Oct	97750.85 TM	72737.65 TM	74.41%
Nov	94811.48 TM	69745.74 TM	73.56%
Dic	98549.60 TM	72918.60 TM	73.99%
Total	1155421 Hrs.	873137 Hrs.	75.57%

Fuente: Elaboración propia.