

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DEL PERÚ**
Escuela de Posgrado



**PROPUESTA DE MEJORA A LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO DEL
SISTEMA DE LUBRICACIÓN EN UNA PLANTA DE CHANCADO
MEDIANTE LA FILOSOFIA DEL TPM**

Tesis para obtener el grado académico de Maestra en Ingeniería Industrial
con mención en Gestión de Operaciones que presenta:

María Del Carmen Bedregal Barrios

Asesor:

José **Alan** Rau Alvarez

Lima, 2024


Informe de Similitud

Yo, José Alan Rau Alvarez , docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulada(o) Propuesta de Mejora a la Gestión de Mantenimiento del sistema de Lubricación en una Planta de Chancado Mediante la Filosofía del TPM, de la autora María Del Carmen Bedregal Barrios , dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 15/10/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de investigación, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

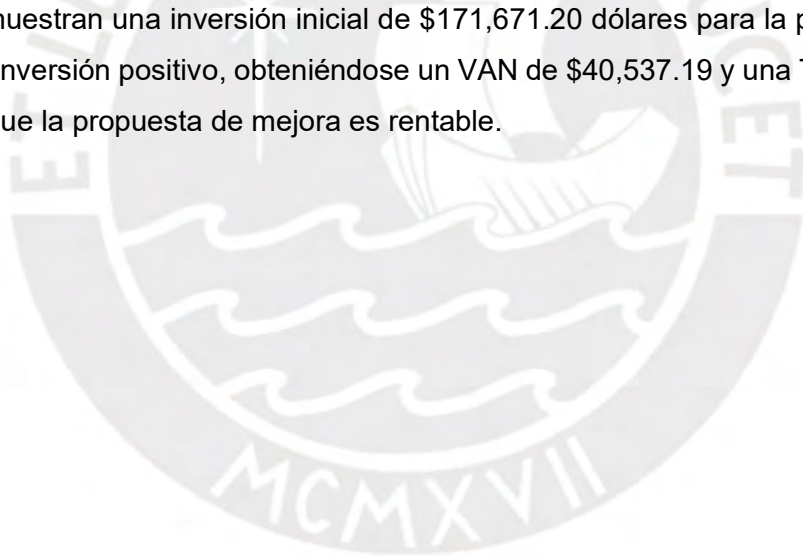
Lugar y fecha:

Lima, 22 de Octubre de 2024.

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Rau Alvarez, José Alan	
DNI: 07602255	Firma 
ORCID: 0000-0003-0928-3994	

RESUMEN

La investigación actual se centra en implantar un sistema de mantenimiento autónomo utilizando un equipo de microfiltración, basado en los dos primeros pilares del Mantenimiento Productivo Total (TPM), para mitigar la contaminación de aceite causada por la polución en la zona de chancado de una empresa minera. La justificación del tema apunta a la demanda de reducir las fallas y los costos asociados al deterioro de los equipos, debido a la contaminación del aceite lubricante por partículas en el ambiente, lo cual impacta negativamente en la eficiencia operativa. El propósito es gestionar eficientemente los activos físicos mediante la introducción de un sistema de microfiltración, integrando la participación de los operarios en el mantenimiento básico y la mejora continua de la máquina chancadora. Basado en la teoría del TPM, que enfatiza la prevención de fallas y la implicación de todo el personal en las actividades de mantenimiento, el método incluye la capacitación de los operarios para realizar tareas de mantenimiento autónomo y la evaluación económica de la puesta en marcha del sistema de microfiltración. Los resultados proyectados muestran una inversión inicial de \$171,671.20 dólares para la propuesta, con un retorno de inversión positivo, obteniéndose un VAN de \$40,537.19 y una TIR de 22%, lo que significa que la propuesta de mejora es rentable.



ÍNDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1: MARCO TEORICO	3
1.1. Investigaciones previas.....	3
1.2. Contexto de la industria de chancado.....	3
1.2.1. Chancado primario	4
1.2.2. Historia y Evolución de la lubricación.....	10
1.3. Mantenimiento productivo total (TPM).....	12
1.3.1. Historia y Evolución del TPM	14
1.3.2. Aplicación del TPM en la gestión del sistema de lubricación	14
1.3.3. Pilares del TPM.....	17
CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN Y DIAGNOSTICO DE LA EMPRESA.....	20
2.1. Descripción de la empresa	20
CAPITULO 3: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO DE MEJORA	27
3.1. Justificación del área	27
3.2. Justificación del proceso.....	28
3.3. Justificación del proceso de Chancado	28
3.4. Determinación de las contramedidas.....	31
CAPITULO 4: PROPUESTA DE MEJORA.....	33
4.1. Aplicación del TPM.....	34
CAPITULO 5: EVALUACIÓN ECONOMICA Y FINANCIERA.....	49
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
6.1. Conclusiones	55
6.2. Recomendaciones	55
Referencias bibliográficas	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Importancia de cada área según factores	27
Tabla 2: Comparativa de los procesos	28
Tabla 3: Análisis de frecuencia de principales causas	29
Tabla 4: Análisis de problemas y contramedidas	31
Tabla 5: Orden de las contramedidas	33
Tabla 6: Requerimiento para Molinos SAG y Molinos de Bolas	36
Tabla 7: Requerimiento para Chancadora Primaria	37
Tabla 8: Requerimiento para Chancadora Secundaria	38
Tabla 9: Comparativa de las cotizaciones	42
Tabla 10: Checklist de actividades a realizar	43
Tabla 11: Programa de capacitación	45
Tabla 12: Inversión de la propuesta de mejora	49
Tabla 13: Datos a considerar	50
Tabla 14: Flujo de caja e inversión	51
Tabla 15: Datos a considerar para el calculo de los indicadores	52
Tabla 16: Flujo de caja económico	53
Tabla 17: Flujo de caja financiero	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Lista de cada pieza de trituradora	6
Figura 2: Partes de una trituradora	7
Figura 3: Flujograma del área de chancado	8
Figura 4: Proceso productivo de una trituradora	11
Figura 5: Pilares del TPM.....	17
Figura 6: Organigrama de la empresa.....	22
Figura 7: Diagrama SIPOC de la empresa	23
Figura 8: Diagrama de análisis de procesos de la empresa	26
Figura 9: Matriz causa-efecto	29
Figura 10: Diagrama de Pareto	30
Figura 11: Evaluación de los 5 por qué's.....	30
Figura 12: Pilares del TPM.....	31
Figura 13: Organigrama del equipo de trabajo.....	35
Figura 14: Molinos SAG y Molinos de Bolas	37
Figura 15: Chancadora Primaria	38
Figura 16: Chancadora Secundaria	39
Figura 17: Cotización 1.....	40
Figura 18: Cotización 2.....	41
Figura 19: <i>Partes de una máquina chancadora</i>	44

INTRODUCCIÓN

El sector minero se caracteriza por la constante demanda de lubricantes para sus equipos en movimiento y sus plantas industriales polimetálicas. Un adecuado uso de los lubricantes, junto con un servicio eficiente en cuanto a su planificación y aplicación, garantiza la mayor disponibilidad y continuidad de los trabajos.

La innovación tecnológica y la optimización de recursos son aspectos cruciales en la industria minera actual. Las empresas del sector requieren productos que garanticen la operatividad y confiabilidad de sus máquinas y equipos para lograr una mayor eficiencia y rentabilidad. Los lubricantes y las grasas juegan un papel fundamental en este sentido, ya que su adecuada selección y aplicación pueden reducir considerablemente el consumo de combustible, incrementar la accesibilidad de las máquinas y afianzar los estándares e indicadores productivos, operativos y económicos. Sin embargo, la gestión actual del sistema de lubricación en la planta de chancado presenta deficiencias que afectan negativamente el rendimiento de los aparatos y la productividad general.

Implementar el TPM en el sistema de lubricación de la planta de chancado tiene la ventaja de crear interesantes réditos empresariales, incluyendo una mayor confiabilidad de los equipos, costos menores, avances significativos en la productividad y un ambiente de trabajo más seguro. En este contexto, la presente propuesta tiene como objetivo brindar una solución integral en cuanto a la mejora de los dispositivos en el sistema de lubricación del área de planta de chancado, a través de la implantación del TPM.

La presente propuesta proporciona un marco sólido para la implementación del TPM, adaptado a las necesidades específicas del sector minero. Se espera que esta propuesta sirva como guía para la transformación del sistema de lubricación de la planta de chancado en un modelo de gestión eficiente, eficaz y sostenible.

A continuación, se describirá el contenido de la tesis:

En el primer capítulo se definirán los conceptos fundamentales y se establecerá el marco teórico necesario para comprender el contexto del estudio.

En el segundo capítulo abordará el modus operandi de la empresa, incluyendo su historia, estructura organizativa, misión, visión, valores y principales actividades.

En el tercer capítulo se analizará y diagnosticará el caso respectivo, identificando las áreas de mejora y proponiendo soluciones estratégicas. Se considerarán tanto aspectos internos como externos que puedan incidir en el rendimiento empresarial.

Finalmente, en el último capítulo se abordarán varios tópicos económico-financieros del proyecto de mejora propuesto, evaluando la viabilidad económica, la rentabilidad esperada y los posibles riesgos financieros asociados.



CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

Este capítulo se adentra en un análisis exhaustivo que abarca desde la revisión de estudios anteriores sobre estrategias de mantenimiento eficaz hasta la descripción detallada del contexto operativo del chancado de minerales. Además, explorará la evolución histórica y los principios fundamentales del TPM, destacando su aplicación práctica y beneficios.

1.1. Investigaciones previas

La historia del uso de la grasa como lubricante se remonta a hace 4000 años, cuando los egipcios empleaban grasa animal mezclada con cal para reducir la fricción en sus carruajes (Simon y Challoner (2022)). En el siglo XIX, las grasas elaboradas a partir de aceites minerales sustituyeron las fórmulas tradicionales y se emplearon de manera extensiva en la maquinaria industrial y minera, que por aquel entonces funcionaba a velocidades más bajas (Rudnick, 2020). Con la aparición de los motores de vapor y los vehículos motorizados en el siglo XX, la necesidad de grasas más eficientes creció, lo que llevó al uso de grasas basadas en jabones metálicos, como las de litio, que se convirtieron en el lubricante estándar para vehículos y maquinaria industrial (Adetunla et al., 2023). Hoy en día, la mayoría de los lubricantes son de origen mineral, extraídos del petróleo crudo, debido a su mayor estabilidad y menor tendencia a oxidarse en comparación con los aceites animales y vegetales, que, aunque más lubricantes, son menos estables y propensos a generar sustancias ácidas que pueden dañar las superficies metálicas (COMERCIO, 2012).

1.2. Contexto de la industria de chancado

Guerroum et al. (2022) mencionan que el chancado se realiza en etapas sucesivas, utilizando diferentes tipos de máquinas como chancadoras primarias, secundarias y terciarias, cada una con su propio principio de funcionamiento, además, en cuanto a la importancia del chancado se da en la reducción del tamaño del material, permitiendo el transporte y manejo eficiente del material, minimizando costos de logística y almacenamiento, como también en la liberación de minerales valiosos facilitando la extracción de minerales valiosos de la matriz rocosa, el aumentando el rendimiento del proceso minero, de igual modo, en la preparación para procesos posteriores, debido a que el material chancado se utiliza como materia prima para procesos como molienda, clasificación, concentración y fundición; de igual modo, las plantas de chancado operan en entornos hostiles con polvo, vibraciones, cargas pesadas y temperaturas extremas, lo que presenta desafíos significativos para el mantenimiento del sistema de lubricación dado por

el desgaste excesivo en la que las piezas lubricadas están sujetas a un desgaste acelerado debido a la fricción, la abrasión y los impactos, como también en la contaminación del lubricante, afectando su rendimiento y provocando fallas prematuras, por añadidura, están las fugas de lubricante que pueden provocar una pérdida significativa de lubricante, aumentando los costos y generando riesgos ambientales, como también está la dificultad de acceso en la que algunos puntos de lubricación son de difícil acceso, lo que dificulta las tareas de inspección y mantenimiento, la competencia de los trabajadores dado que la falta de conocimientos y habilidades con respecto al mantenimiento puede comprometer la eficacia de las tareas teniendo como consecuencias las fallas prematuras de equipos: pudiendo provocar paradas no programadas, afectando la producción y generando costos elevados de reparación, por otra parte, en las paradas no programadas debido a que interrumpen el flujo de producción, ocasionando pérdidas de producción y afectando la rentabilidad de la operación, similarmente en los costos elevados de mantenimiento; en la que las fallas prematuras y las paradas no programadas incrementan los costos de mantenimiento correctivo y repuestos, además de lo anterior, en los riesgos de seguridad, debido a que las fugas de lubricante y las fallas de equipos pueden generar riesgos de seguridad para el personal y por último, el deterioro ambiental dado a que las fugas de lubricante pueden contaminar el suelo y las aguas, causando daños al medio ambiente. También están las fases en que se efectúan diferentes etapas, como el chancado primario, que reduce rocas de gran tamaño (hasta 3 metros) a tamaños más pequeños (entre 300 y 600 mm), como también el chancado secundario, que reduce aún más el tamaño del material de la etapa primaria (entre 60 y 150 mm) y el chancado terciario obteniendo un tamaño final de producto aún más pequeño (entre 6 y 25 mm).

1.2.1. Chancado primario

Descripción de la trituradora giratoria

Javaheri et al. (2022) refieren que la máquina trituradora es un modelo giratorio Traylor NT que cuenta con una boca de carga de 60 pulgadas (1525 mm) y un diámetro máximo de manto de 113 pulgadas (2870 mm).

Principio operativo

Datos de diseño y operativos

Del mismo modo, Javaheri et al. (2022) mencionan que la temperatura máxima de diseño

es de 300°C, como también en bajo las condiciones ATEX Zona 21/21, la temperatura operativa máxima es de 135°C.

Principio de funcionamiento

Nazarenko et al. (2021) refieren que el objetivo final del proceso de trituración es reducir el tamaño del material extraído proveniente de la mina, conocido como material extraído bruto o material extraído ROM. La trituración es el primer paso en la progresiva reducción del tamaño del material, con una disminución adicional que ocurre en la planta de molienda posterior, durante la trituración, la trituradora descompone el material ROM y lo envía a un depósito de acumulación ubicado debajo. Este proceso se lleva a cabo en un circuito abierto, sin cribado ni reciclaje de partículas de gran tamaño. El material triturado se retira del depósito para su tratamiento adicional en la operación de molienda, del mismo modo, la trituradora giratoria, cuyos principales componentes se muestran en la Figura 1, consta de un cuerpo de acero fundido que alberga el mecanismo de accionamiento en su parte inferior. Este mecanismo, compuesto por el componente excéntrico, el engranaje y el conjunto de contra eje, proporciona el movimiento giratorio necesario. La parte superior de la trituradora forma una superficie estacionaria de trituración con una cámara cónica revestida con piezas de acero resistentes al desgaste, conocidas como componentes cóncavos, a continuación, se presenta la figura 3 las partes de la trituradora como también en la figura 2 la lista de pieza de la trituradora y el flujograma del área o proceso de chancado:

SPIDER ASSEMBLY	CONJUNTO DE LA JUNTA CARDÁNICA
SPIDER CAP	TAPA DE LA JUNTA CARDÁNICA
SPIDER BUSHING	BUJE DE LA JUNTA CARDÁNICA
TOP SHELL ASSEMBLY	CONJUNTO DEL CASCO SUPERIOR
CONCAVES	COMPONENTES CÓNCAVOS
MIDDLE SHELL ASSEMBLY	CONJUNTO DEL CASCO CENTRAL
BOTTOM SHELL LINER ASSEMBLY	CONJUNTO DEL REVESTIMIENTO DEL CASCO INFERIOR
BOTTOM SHELL ASSEMBLY	CONJUNTO DEL CASCO INFERIOR
COUNTERSHAFT ASSEMBLY	CONJUNTO DEL CONTRAEJE
PINION SHAFT	EJE DEL PIÑÓN
PINION	PIÑÓN
BOTTOM PLATE ASSEMBLY	CONJUNTO DE LA PLACA INFERIOR
SUPPORT RINGS	ANILLOS DE SOPORTE
HYDRAULIC ADJUSTMENT – PISTON	AJUSTE HIDRÁULICO – PISTÓN
HYDRAULIC ADJUSTMENT – ASSEMBLY	AJUSTE HIDRÁULICO – CONJUNTO
ECCENTRIC	EXCÉNTRICO
ECCENTRIC GEAR:	ENGRANAJE EXCÉNTRICO:
OUTER ECCENTRIC	EXCÉNTRICO EXTERNO
INNER ECCENTRIC	EXCÉNTRICO INTERNO
DUST SEAL BONNET	CAMPANA DEL SELLO CONTRA POLVOS
MANTLE (LOWER)	MANTO (INFERIOR)
MAIN SHAFT	EJE PRINCIPAL
CORE –	NÚCLEO –
MANTLE (UPPER)	MANTO (SUPERIOR)
SPIDER ASSEMBLY –	CONJUNTO DE LA JUNTA CARDÁNICA –
SPIDER CAP –	TAPA DE LA JUNTA CARDÁNICA –

Figura 1: Lista de cada pieza de trituradora

Nota. Elaboración propia.

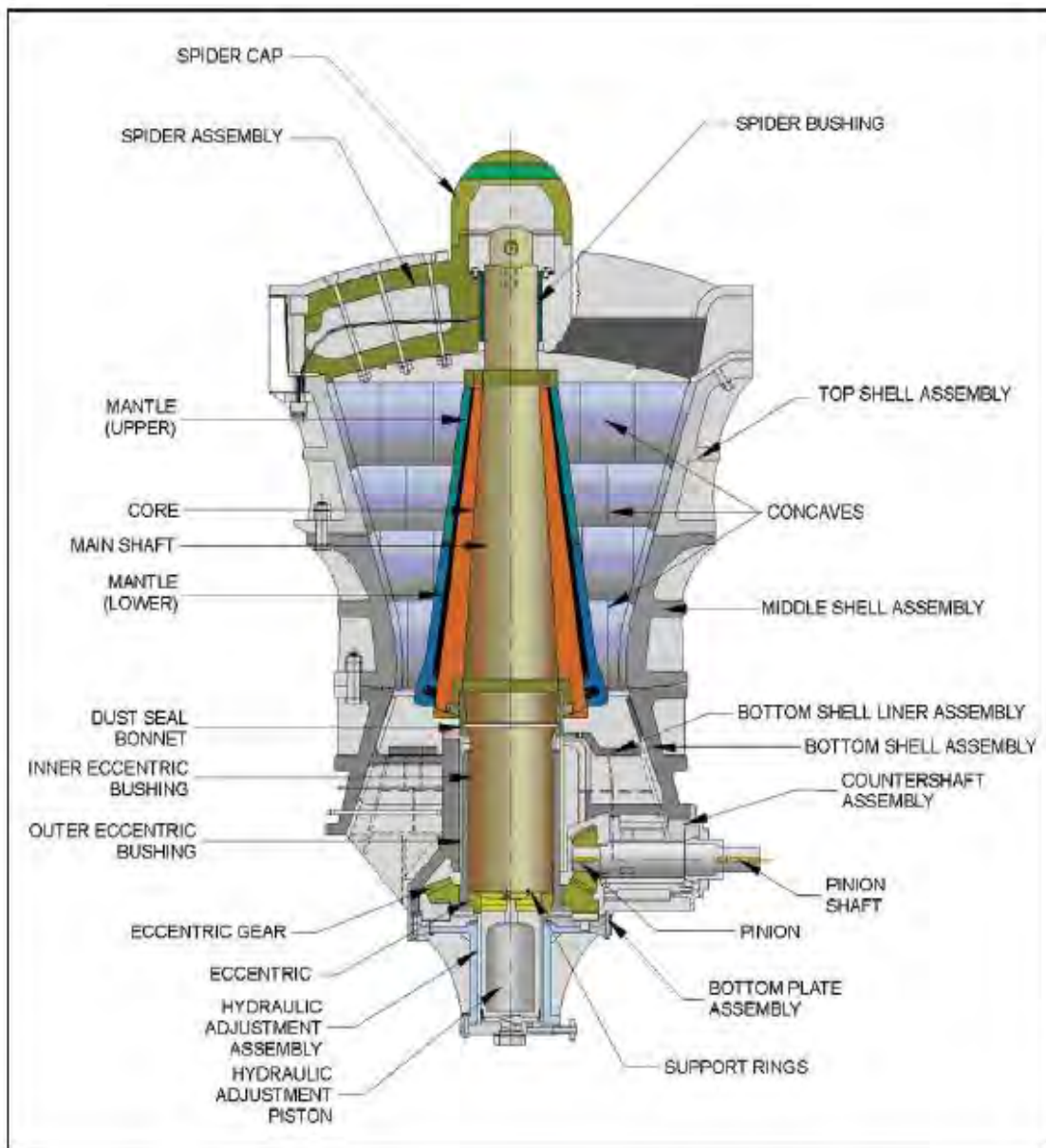


Figura 2: Partes de una trituradora

Nota. Recopilado de <https://www.goconqr.com/es/p/24828404/question/12281897>

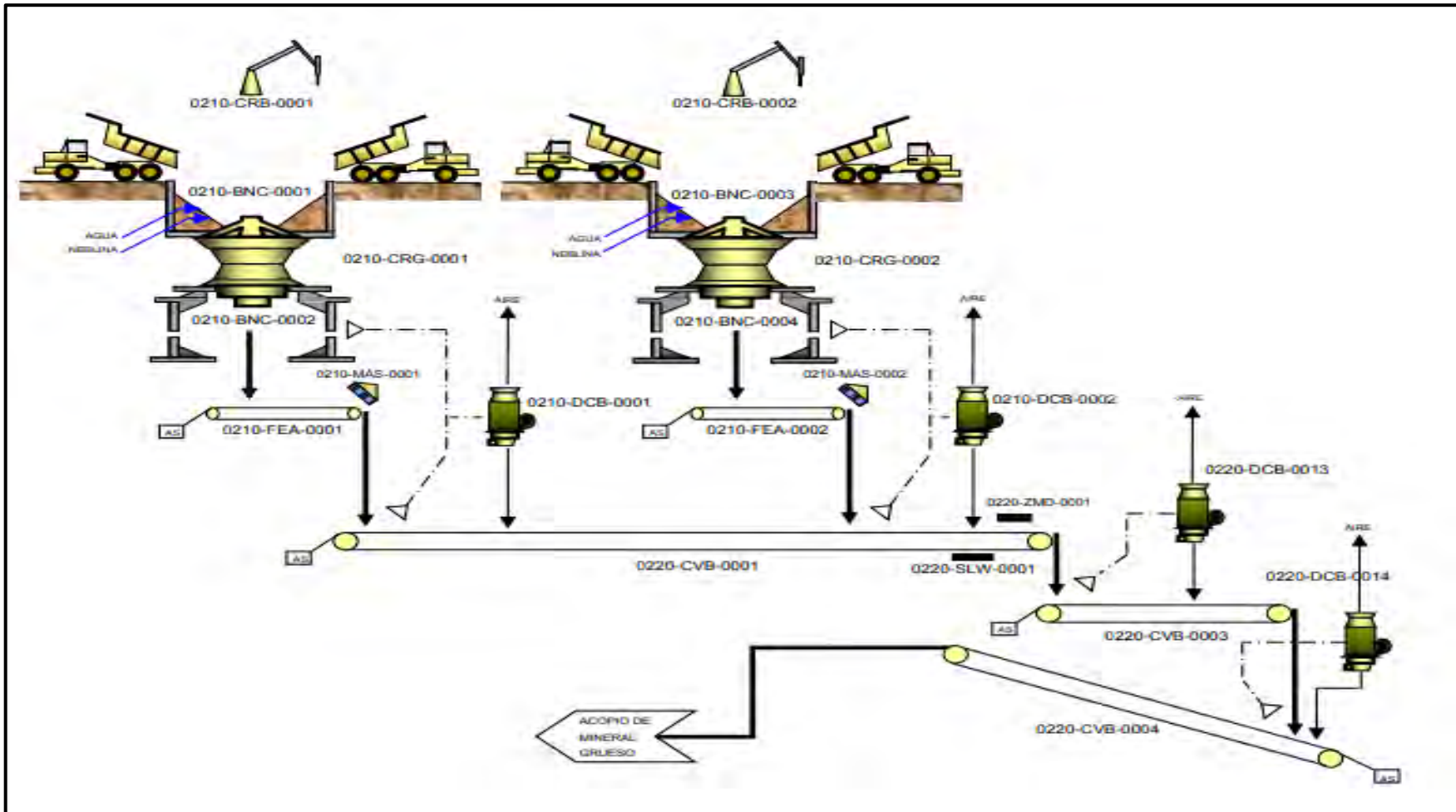


Figura 3: Flujograma del área de chancado

Nota. Google, 2024

Gupta y Yan (2019) refieren que el procesamiento del mineral ROM se realiza a través de dos chancadores giratorios, cada uno con dimensiones de 1 524 x 2 870 mm (60" x 113") y operando en paralelo. La capacidad de cada chancador varía entre 4 167 y 7 500 t/h, dependiendo de la apertura del equipo y las propiedades del mineral. Estos chancadores tienen una apertura nominal de 178 mm (7"). El sistema de descarga, que incluye un alimentador situado debajo de la tolva, es capaz de manejar entre 4 167 y 5 000 t/h por línea. El material procesado se almacena en dos tolvas de compensación con una capacidad neta de 720 t cada una, y se descarga por gravedad hacia los alimentadores de placas. Estos alimentadores depositan el material en una correa de sacrificio ajustable, que mide 206 m de longitud y 84" de ancho, y finalmente alimenta el sistema de transporte de mineral grueso.

1.2.1.1 Sistema de transporte de mineral grueso

Adigamov et al. (2021) describen un sistema de transporte de mineral grueso compuesto por dos correas overland conectadas en serie, con longitudes de 2 577 m y 2 718 m, y un ancho de 72" cada una. Estas correas trasladan el mineral desde la zona de chancado hasta el acopio en la planta Concentradora, con una capacidad total de 9 177 t/h. Dado que los sistemas de descarga tienen una capacidad nominal de 4 167 t/h por línea, se recomienda ajustar la velocidad de los alimentadores en función del flujo de mineral medido, para evitar sobrecargar el sistema de transporte.

1.2.1.2. Monitoreo de carga e identificación de metales

Xu et al. (2022) describen un sistema de protección en el transporte de mineral grueso, donde la correa de sacrificio minimiza daños a la correa overland y está equipada con un pesómetro para controlar la carga. Cada alimentador tiene un electroimán para eliminar metales que podrían dañar el sistema, y un detector de metales en la correa de sacrificio identifica elementos magnéticos. Al detectar metales, las correas y el alimentador se detienen, permitiendo que un operador retire manualmente el objeto antes de reanudar la operación.

1.2.1.3. Control de polvo

En adaptación de Liu et al. (2021) detallan un sistema de control de polvo que utiliza supresores con neblina de agua atomizada en áreas clave como la tolva de alimentación, descarga y transporte de mineral grueso. El sistema incluye cuatro colectores de polvo distribuidos en la tolva de descarga, el alimentador de placas, y durante las transferencias entre las correas. Cada colector está equipado con un mecanismo para rechazar partículas finas, mejorando la eficiencia del control de polvo.

1.2.2. Historia y Evolución de la lubricación

La grasa se ha usado como lubricante desde hace milenios, comenzando con los egipcios hace 4,000 años. Originalmente hecha de cal y grasas animales, fue reemplazada en el siglo XIX por grasas basadas en aceites minerales para maquinaria industrial y vagonetas mineras. Con el desarrollo de motores de vapor y maquinaria en el siglo XX, se introdujeron grasas especializadas con jabones metálicos para aplicaciones específicas como chasis y cojinetes. La década de 1950 vio la introducción de la grasa de litio 'multiuso', inicialmente recibida con escepticismo pero que eventualmente se convirtió en la más utilizada en vehículos y maquinaria industrial hasta hoy. Actualmente, la mayoría de los lubricantes son de origen mineral, extraídos del petróleo crudo, mientras que anteriormente se empleaban aceites animales y vegetales que, aunque más lubricantes, eran menos estables y propensos a la oxidación. La refinación del petróleo crudo se realiza mediante destilación fraccionada, seguida de tratamientos para eliminar impurezas y ajustes químicos según el uso previsto del lubricante. La lubricación sigue siendo crucial para el funcionamiento de maquinaria en todo el mundo, y la industria de lubricantes continúa evolucionando para satisfacer las demandas cambiantes de nuevas tecnologías y procesos (Comercio, 2012).

1.2.2.1. Sistema de lubricación

Singh et al. (2020) describen varios métodos de lubricación en motores, incluyendo el engrase por mezcla, donde el aceite se mezcla con la gasolina y se libera durante la combustión. Este método permite que el aceite se deposite en las partes internas del motor, como el cilindro y el pistón, aprovechando las altas temperaturas y velocidades. Es esencial ajustar con precisión la proporción de aceite para evitar problemas como la acumulación de carbonilla o el agarrotamiento del motor.

Taylor (2021) señala que los motores suelen utilizar aceites SAE 30 con aditivos como inhibidores de corrosión. Se recomienda preparar la mezcla de aceite y gasolina en un recipiente separado antes de añadirla al depósito del motor. Alternativamente, el engrase a presión implica bombear el aceite a través de todas las partes del motor, pasando primero por filtros gruesos y luego por filtros finos. Los vapores del aceite caliente también actúan como lubricantes. Cuando se usa un taladro en la biela para lubricar el bulón del pistón, se denomina engrase a presión total.

De igual modo, Usman et al. (2021) destacan que la lubricación a presión abarca componentes como los apoyos del árbol de levas, cojinetes de biela, eje de balancines y apoyos del cigüeñal. También mencionan el método de engrase por proyección, que lubrica partes del motor mediante la proyección de aceite sobre los pistones, camisas,

bulones, levas y mecanismos de distribución. Además, el engrase por cárter seco es utilizado en motores con altas temperaturas para un enfriamiento más eficiente del aceite. Este sistema emplea dos depósitos externos al motor, cada uno con su bomba, y comparte características con otros métodos de lubricación. A continuación, se presenta el proceso de producción de la trituradora en el proceso de chancado. Ver figura 4.

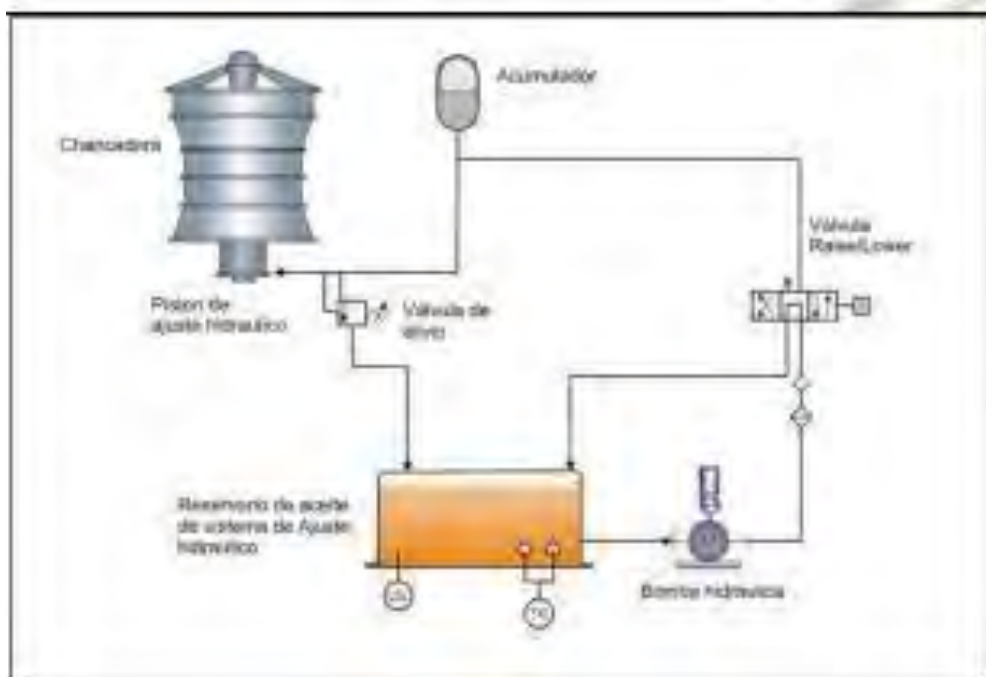


Figura 4: Proceso productivo de una trituradora

Nota. Google, 2024

1.2.2.3. Elementos de un circuito de lubricación

Lo planteado por Kirchner et al. (2024) destacan que las bombas de aceite juegan un papel crucial al proporcionar una cantidad precisa de aceite a presión dentro del motor. Estas bombas, ubicadas en el cárter, son impulsadas por el árbol de levas mediante engranajes o cadenas. Generalmente, una bomba de aceite está equipada con un colador de succión para eliminar impurezas del aceite entrante, un eje motriz conectado al sistema de distribución del motor, y una bomba de piñones que bombea el aceite a través de las tuberías de presión.

Por otro lado, según Arya et al. (2021) describen diferentes clases de bombas de aceite. La bomba de engranajes, por ejemplo, ofrece alta presión incluso a bajas revoluciones mediante el uso de dos engranajes que giran uno contra el otro. La bomba de lóbulos, que tiene un diseño interno diferente, pero realiza una función similar, y la bomba de paletas, que utiliza un diseño cilíndrico con paletas para aspirar y expulsar el aceite.

En cuanto a Vecchiato et al.(2024), el manómetro mide la presión del aceite en tiempo

real, mientras que el mano contacto de presión de aceite es un interruptor que se activa según la presión del aceite, encendiendo una luz indicadora en caso de presión baja. Esta señal luminosa alerta sobre la falta de presión en el circuito de aceite, asegurando un funcionamiento adecuado del motor.

Además, para garantizar la eficiencia del sistema de lubricación, se emplean filtros de aceite que capturan partículas como desgaste de piezas y residuos de combustión. Estos filtros, generalmente de cartucho recambiable, están compuestos por material poroso con envoltura metálica y se sitúan antes y después de la bomba de aceite.

En cuanto a la refrigeración del aceite, se utilizan dos métodos distintos. La refrigeración por cárter permite que el aceite se enfríe naturalmente debido a la circulación del aire alrededor del cárter del motor. En la refrigeración por radiador de aceite, este fluye a través de un radiador que está regulado por una válvula térmica. Esta válvula facilita el intercambio de calor con el sistema de refrigeración del motor cuando el aceite alcanza temperaturas elevadas.

Finalmente, la ventilación del sistema de lubricación se encarga de eliminar los gases producidos durante el funcionamiento del motor, como vapores de combustible y agua que se fusionan con el aceite. Estos gases son extraídos desde el lado superior del motor y reintroducidos en los cilindros a través del colector de admisión, lo que contribuye a un funcionamiento más limpio y eficiente del motor.

1.3. Mantenimiento productivo total (TPM)

Au-Yong et al. (2022) refieren que el TPM es una metodología de gestión de activos físicos que se originó en Japón en la década de 1950 y se ha convertido en un estándar internacional para la mejora continua en la industria manufacturera. Su principal objetivo es eliminar todas las pérdidas en la producción y maximizar la eficiencia general de los equipos (OEE). El TPM se basa en la prevención proactiva de fallos y averías antes de que ocurran, en lugar de esperar a repararlos después. Además, fomenta la participación activa de todos los niveles de la organización, desde los operadores hasta la alta dirección, y se centra en la mejora continua para aumentar la eficiencia y la fiabilidad de los equipos; junto con el enfoque en las pérdidas dado a que el TPM identifica y elimina las ocho pérdidas principales que afectan la productividad, como también en pérdidas por averías debido a que las fallas repentinas que detienen la producción, también están las pérdidas por ajustes y paradas en que las detenciones planificadas para cambios de herramientas, ajustes y mantenimiento; como también están las pérdidas por velocidad de marcha lenta en la que su funcionamiento por debajo de la velocidad máxima debido a problemas técnicos o de calidad, como tal, están las

pérdidas por defectos de calidad en la que los productos que no cumplen con los estándares de calidad, como también las pérdidas por mermas siendo de material desperdiciado durante el proceso de producción, además de lo anterior, están las pérdidas por arranques y paradas teniendo al tiempo improductivo al iniciar y detener la producción, al mismo tiempo, en las pérdidas por transporte y almacenamiento teniendo ineficiencias en el manejo de materiales, como también lo son, las pérdidas por pérdidas energéticas originando un consumo excesivo de energía.

En adaptación por Tortorella et al. (2021) sostienen que el TPM ofrece múltiples beneficios, como una mayor eficiencia y productividad, ya que puede aumentar considerablemente la eficiencia global de los equipos (OEE), resultando en una producción más elevada y costos reducidos. Asimismo, la estrategia preventiva del TPM reduce la frecuencia de fallos y averías, lo que a su vez disminuye el tiempo de inactividad y los costos asociados al mantenimiento. También mejora la calidad de los productos al disminuir los defectos y desperdicios. Otro beneficio importante es la mayor seguridad en el trabajo, ya que el TPM implica la identificación y eliminación de riesgos potenciales, lo que mejora la seguridad en el entorno laboral, por añadidura, está una mayor motivación del personal; en la que la participación de los empleados en el TPM aumenta su compromiso y motivación; no obstante, en cuanto a la implementación del TPM requiere un compromiso a largo plazo de toda la organización y sigue un proceso estructurado que incluye la preparación con el fin de establecer un equipo TPM, definir objetivos y obtener el apoyo de la gerencia, del mismo modo esta la evaluación inicial a fin de identificar las pérdidas existentes y sus causas raíz y la gestión que involucra planificar medidas para eliminar las pérdidas identificadas, como también está la implementación y seguimiento: Implementar los planes de acción y monitorear su progreso; y finalmente, en una mejora continua dado a que se debe de revisar y actualizar constantemente los planes de acción para mantener las mejoras.

En adaptación de Ngoy y Israel (2021) reiteran que en cuanto a ventajas son en una mayor eficiencia y productividad, como también en la reducción de costos, del mismo modo, en la mejora de la calidad, por añadidura está en una mayor seguridad en el trabajo, asimismo en el mejoramiento del ambiente laboral, incluso en una mayor vida útil de los equipos, la adaptación eficiente a modificaciones.

Aducen Guedes et al. (2021) que la importancia se suscita ante un enfoque preventivo, como también en la participación de todos los empleados, del mismo modo en una mejora continua, como también en el énfasis en la calidad, y por ende en la adaptabilidad a diferentes sectores.

1.3.1. Historia y Evolución del TPM

Thakur y Panghal (2021) destacan que el TPM, desarrollado por el Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta (JIPM), se originó en Japón como una estrategia innovadora para mejorar la gestión del mantenimiento, adaptándose a la creciente automatización. Inicialmente enfocado en departamentos relacionados con equipos, su aplicación se amplió a áreas de administración y apoyo. Silva y Souza (2020) añaden que Nippon Denso, del grupo Toyota, implementó esta metodología en 1969, ganando el Premio de Excelencia Empresarial, luego conocido como el Premio PM de Mantenimiento Productivo.

Shannon et al. (2023) afirman que el propósito del TPM es viabilizar un sistema empresarial que mejore la eficiencia del proceso productivo al minimizar pérdidas en todas las áreas operativas. La meta de lograr "cero pérdidas" se alcanza mediante la formación de pequeños equipos de trabajo. El concepto de TPM incluye tres enfoques: La "T" de "total" consiste en la participación de todas las actividades y empleados de la empresa, enfocándose en tres aspectos clave: la participación del personal, la eficacia global, y un sistema de gestión del mantenimiento orientado a la prevención desde el diseño.

La "P" está asociada a la "productividad" de los equipos, aunque también puede interpretarse como "perfeccionamiento".

La "M" representa tanto la "gestión" como el "mantenimiento", integrando un enfoque holístico en la gestión y evolución de la empresa.

1.3.2. Aplicación del TPM en la gestión del sistema de lubricación

Pinto et al. (2020) afirman que el TPM es una estrategia de gestión de activos físicos que puede ser implementada eficazmente en los sistemas de lubricación de las plantas de chancado. Este enfoque se centra en prevenir fallos y en la mejora continua, ayudando a las empresas a minimizar las averías relacionadas con la lubricación. Mediante la aplicación técnica como el análisis de causa raíz y los diagramas de Pareto, el TPM reconoce las causales negativas que dificultan la lubricación, tales como la contaminación del lubricante, fugas, desgaste excesivo y la selección incorrecta del lubricante. Una vez detectadas estas causas, se pueden aplicar medidas correctivas para evitar la recurrencia de fallos. Asimismo, el TPM promueve la implementación de programas de mantenimiento preventivo basados en la condición del equipo y el historial de fallos. Este programa abarca tareas como inspecciones regulares, cambios de lubricante, análisis del lubricante y depuración de elementos del sistema de lubricación. Un programa de mantenimiento preventivo bien estructurado puede ayudar a evitar

fallos prematuros y a extender el funcionamiento de los equipos.

De igual forma, en mejorar la calidad del lubricante; dado a que el TPM enfatiza la selección del lubricante adecuado para cada aplicación y el uso de lubricantes de alta calidad, debiéndose establecer procedimientos para el almacenamiento, manejo y dispensación del lubricante para evitar la contaminación, como también en optimizar el uso de lubricantes en la reducción el consumo de lubricante, debido a que el TPM busca minimizar el uso de lubricante sin afectar el rendimiento de los equipos, pudiendo lograrse mediante la optimización de los intervalos de cambio de lubricante, la eliminación de fugas y la implementación de prácticas de lubricación eficientes. También en controlar los costos de lubricación, en la que el TPM ayuda a controlar los costos de lubricación mediante la optimización del consumo, la selección de lubricantes de alto rendimiento y la negociación efectiva con proveedores. Por añadidura, en mejorar la confiabilidad del sistema de lubricación, estableciendo indicadores clave de rendimiento (KPIs) en la que el TPM define KPIs para monitorear el rendimiento del sistema de lubricación, como la cantidad de fallas relacionadas con la lubricación, el consumo de lubricante y el tiempo de inactividad por mantenimiento., dado a que el seguimiento de estos KPIs ayuda a detectar áreas que requieren mejoras y a tomar decisiones basadas en datos. Además, el TPM promueve la participación activa de todos los empleados en las actividades de mantenimiento y en la optimización del sistema de lubricación. Esto no solo promueve una cultura de responsabilidad compartida, sino que también mejora la eficacia del programa de TPM. Al reducir el tiempo de inactividad debido al mantenimiento, prevenir fallos y optimizar las prácticas de mantenimiento, el TPM contribuye significativamente a la eficiencia global de los equipos (OEE). La disponibilidad de los equipos aumenta y, en consecuencia, se mejora la OEE. Asimismo, una lubricación adecuada asegura el correcto funcionamiento de los equipos, lo cual tiene un efecto benéfico positivo en la calidad de los equipos finales.

Gupta et al. (2021) consideran que los tipos de lubricantes utilizados en plantas de chancado en cuanto a los lubricantes utilizados en plantas de chancado deben cumplir con requisitos específicos para soportar las condiciones de operación severas, incluyendo cargas pesadas, vibraciones intensas y temperaturas extremas, debido a que los tipos de lubricantes más comunes utilizados en estos entornos incluyen los aceites, siendo a base de petróleo o sintéticos son los lubricantes más utilizados en sistemas de chancado, ofreciendo seguridad contra el desgaste y la corrosión, y pueden soportar altas temperaturas y cargas; también están las grasas, dado a que las grasas se utilizan en aplicaciones donde se requiere una lubricación más resistente al agua y al polvo. También se pueden usar en puntos de lubricación de difícil acceso; del mismo

modo, están los lubricantes sólidos, como el grafito o el bisulfuro de molibdeno que se utilizan en aplicaciones donde la lubricación convencional no es efectiva, como en cojinetes de alta temperatura o con cargas extremas. No obstante, la selección del lubricante adecuado para una aplicación específica depende de varios factores, incluyendo el tipo de maquinaria, las condiciones de operación y las preferencias del usuario. Por otro lado, los métodos de lubricación aplicados en sistemas de chancado, existen por diversos métodos, entre los más comunes incluyen la lubricación manual, que implica en la aplicación de lubricante a los puntos de lubricación mediante una pistola de engrase o un lubricador manual, debido a que este método es simple y económico, pero puede ser laborioso y propenso a errores humanos; del mismo modo, está la lubricación centralizada en la que se utiliza una bomba para distribuir el lubricante desde un depósito central a los puntos de lubricación individuales, siendo un método eficiente que la lubricación manual y reduce el riesgo de errores humanos; además de esto, está la lubricación por goteo en la que se utiliza un gotero para suministrar una cantidad constante de lubricante a un punto de lubricación específico. Este método es ideal para aplicaciones donde se requiere una lubricación continua. Como también está el de la lubricación por aspersión utilizándose una boquilla para rociar lubricante sobre un área amplia, siendo este un método efectivo para lubricar componentes que se mueven a alta velocidad. Por si fuera poco, la selección del método de lubricación adecuado para una aplicación específica depende de varios factores, incluyendo el tipo de maquinaria, las condiciones de operación y el presupuesto disponible. Por otro lado, los factores que Afectan la Vida Útil del Lubricante en Plantas de Chancado se ven afectada por una serie de factores, en las que incluyen la carga pesada pudiendo acortar la vida útil del lubricante al romper la película de aceite y aumentar la fricción; del mismo modo esta la vibración, pudiendo dañar los sellos y permitir que el lubricante se escape, de igual modo, está la temperatura, dado a que las temperaturas extremas pueden degradar el lubricante y reducir su viscosidad, como también está la contaminación, en mención a la contaminación del lubricante con agua, polvo u otros contaminantes puede disminuir su rendimiento su vida útil, dado que el monitoreo regular del estado del lubricante y la implementación de prácticas de mantenimiento adecuadas pueden ayudar a extender la vida útil del lubricante y mejorar la eficiencia operativa de los sistemas de chancado. Sumado a esto, las prácticas recomendadas para la lubricación efectiva de equipos de chancado se dan en seleccionar el lubricante adecuado, dado a que es importante seleccionar el lubricante adecuado para cada aplicación específica, teniendo en cuenta las condiciones de operación y los requisitos de la maquinaria, como también en seguir los intervalos de lubricación recomendados en la que los fabricantes de equipos suelen proporcionar intervalos de lubricación recomendados para sus

productos siguiendo las recomendaciones para asegurar una lubricación adecuada y por último, en monitorear el estado del lubricante debido a que el monitoreo regular del estado del lubricante puede ayudar a identificar problemas.

1.3.3. Pilares del TPM

El sistema de mejora continua TPM se basa en ocho pilares fundamentales que, cuando se implementan en la organización, aseguran avances en los sistemas productivos. Ver la figura 5.

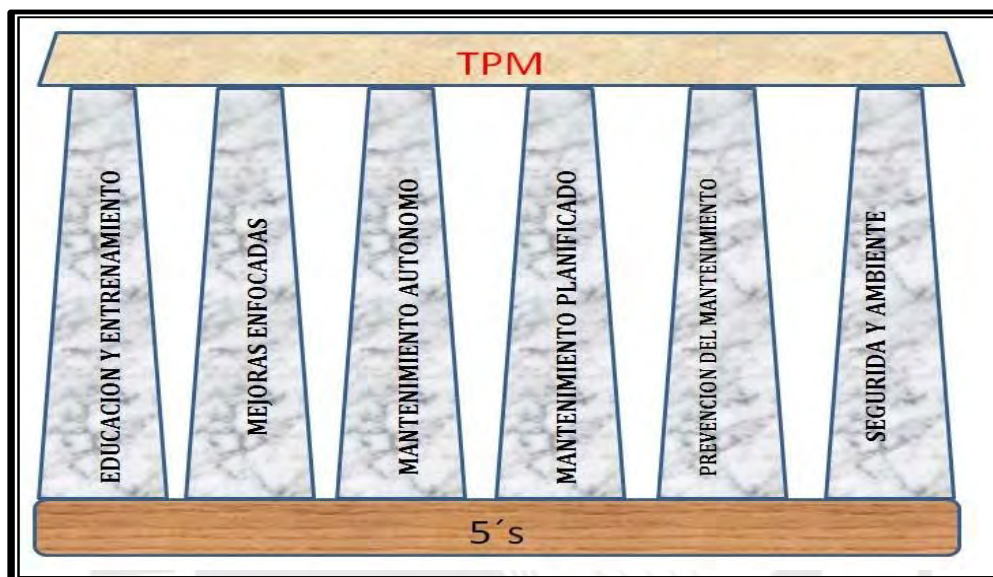


Figura 5: Pilares del TPM

Nota. Google, 2024

1.3.3.1. Educación y formación

Al-refaie y Lepkova (2022) señalan que la finalidad de este principio es potenciar las competencias y destrezas del personal. La formación continua es vital para que los empleados se adapten y estén preparados para los cambios constantes en el entorno laboral. Asimismo, para mantener esta adaptabilidad, es crucial actualizar periódicamente los conocimientos de los trabajadores a la par que evolucionan las tecnologías y métodos, y conforme lo requiera el mercado. De no ser así, la empresa podría quedarse rezagada con prácticas obsoletas, a pesar de la destreza de su plantilla, y su posición competitiva podría deteriorarse rápidamente.

Chauhan et al. (2021) manifiestan que el propósito de este aspecto es eliminar de manera sistemática las principales pérdidas que surgen durante el proceso de producción, las cuales incluyen:

- Fallos en los equipos principales
- Cambios y ajustes imprevistos
- Desperdicios y retrabajos
- Fallos en los equipos secundarios
- Tiempo muerto y paradas breves
- Disminución de la velocidad
- Defectos en el proceso

Moirano et al. (2020) y Rizkya et al. (2021) destacan que el enfoque de mejora continua en la industria se basa en la colaboración de equipos interdisciplinarios para reducir pérdidas y optimizar el estado del equipo. Esto se logra a través de la formación profesional, la participación activa de los operadores y el uso de metodologías específicas para mantener el equipo en condiciones óptimas, fomentar la responsabilidad y mejorar el rendimiento operativo.

La metodología de implementación se articula en siete etapas: comenzar con la limpieza, incentivando a los operadores a mantener sus equipos en óptimas condiciones; proponer medidas y analizar las causas y efectos de la suciedad, motivando a los operadores a sugerir soluciones para el desorden y los ajustes inadecuados; establecer estándares de limpieza y lubricación, definiendo criterios para un mantenimiento eficiente basado en las condiciones identificadas de los equipos; realizar una inspección general, capacitando al personal para identificar posibles fallas mediante una revisión detallada; llevar a cabo inspecciones autónomas, apoyando las inspecciones de grupo con revisiones del equipo en funcionamiento y en reposo, incluyendo listas de verificación y procedimientos completos; y finalmente, documentar el proceso creando un manual que detalle los procedimientos a seguir ante la detección de anomalías.

Chin et al. (2020) destacan que la planificación y programación del mantenimiento son fundamentales para optimizar las operaciones industriales. Su principal objetivo es resolver problemas de los equipos a través de mejoras, prevención y predicción, con la meta de eliminar gradualmente las averías en las plantas industriales. Además, este enfoque busca erradicar las causas del desgaste acelerado, que pueden ser resultado de una operación ineficiente, fallos en el diseño original o mantenimiento inapropiado debido al uso prolongado.

Por otro lado, Messina et al. (2020) señalan que una gestión efectiva del mantenimiento requiere de una base de datos que contenga incidentes y problemas

comunes, tanto desde el conocimiento interno (experiencia de operadores y personal de mantenimiento) como externo (apoyo y experiencia de proveedores de equipos). También resalta la importancia de planificar los recursos, gestionar las tecnologías de mantenimiento y motivar y coordinar al personal involucrado en estas tareas.

Además, Tian y Jeng (2021) enfatizan la necesidad de desarrollar una estructura eficaz para el diseño del programa de mantenimiento, que abarque aspectos de conservación, confiabilidad y mantenibilidad. Esto requiere un plan que fortalezca la gestión a todos los niveles de la organización, asignando responsabilidades específicas para asegurar el cumplimiento. Un objetivo crucial del mantenimiento planificado es entrenar a los operarios en la identificación de fallas y la detección de irregularidades que podrían impactar el rendimiento del equipo, lo que permite a los técnicos especializados intervenir de manera precisa para solucionar problemas específicos.

1.3.3.2. Prevención del mantenimiento

Samsudin et al. (2022) sostienen que la prevención en el mantenimiento se enfoca en introducir mejoras durante la elaboración, construcción y puesta en marcha de equipos, con el objetivo de mitigar los costos de mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto implica aprovechar el historial de rendimiento de equipos anteriores para identificar oportunidades de optimización en el diseño de nuevos equipos, con el fin de abordar las causas de fallos desde el inicio del proceso de adquisición. Estas estrategias se fundamentan en la teoría de la fiabilidad, que demanda una recopilación exhaustiva de datos sobre la frecuencia de fallos y las operaciones de reparación para su implementación efectiva.

1.3.3.3. Seguridad y ambiente

Vincoli (2024) reitera que el propósito fundamental de este aspecto es establecer un mecanismo eficaz en tema de la seguridad, con el fin de evitar riesgos que puedan comprometer la seguridad de la gente o tener impactos adversos en el entorno ambiental, buscando alcanzar la meta de cero accidentes y cero incidentes ambientales.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Este capítulo ofrece un análisis exhaustivo de la empresa, con el fin de presentar una visión completa de su estructura organizativa, su historia y sus principales actividades.

2.1. Descripción de la empresa

La mina se encuentra en las provincias de Cotabambas y Grau, en la región Apurímac del sur de Perú, y se destaca como una de las mayores operaciones de extracción de cobre a nivel mundial. Su capacidad de producción anual varía entre 280,000 y 320,000 toneladas de concentrado de cobre. La mina es operada por una empresa australiana con sede en Melbourne. La empresa extrae y procesa mineral de cobre de tres yacimientos principales: Ferro bamba, Chalco bamba y Sulfobamba. El mineral procesado se transporta en camiones hasta el puerto de Matarani a unos 450 km de distancia para su exportación.

La empresa vende su concentrado de cobre a clientes a nivel internacional, principalmente Europa y Asia. Entre sus principales clientes se encuentran:

- **Trafigura:** Una organización multinacional de comercio y logística con sede en Suiza.
- **Glencore:** Una organización multinacional de productos básicos con sede en Suiza.
- **China Minmetals Corporation:** Una empresa estatal china de minería y metales.
- **Korea Zinc Co. Ltd:** Una empresa minera surcoreana.

La empresa se abastece de una amplia gama de bienes y servicios de proveedores locales e internacionales. Algunos de sus principales proveedores incluyen:

- **Proveedores de servicios mineros:** Empresas que brindan servicios como perforación, voladura, transporte y logística.
- **Proveedores de equipos y materiales:** Empresas que suministran equipos mineros, repuestos y materiales de construcción.
- **Proveedores de servicios de energía:** Empresas que suministran electricidad y otros servicios energéticos.

La mina representa una fuente significativa de ingresos para Perú. En 2021, aportó más de US\$193 millones en impuestos y regalías al gobierno peruano. Además, la mina brinda empleo a miles de peruanos y genera oportunidades de negocio para empresas

locales. No obstante, ha sido objeto de críticas por parte de algunos grupos locales que han manifestado su preocupación por los impactos ambientales y sociales de la minería. En los últimos años, se han registrado varias protestas y bloqueos de carreteras que han interrumpido las operaciones de la mina. La empresa ejemplifica la complejidad de los beneficios y desafíos que la minería a gran escala presenta en Perú, siendo una fuente importante de ingresos y empleo, pero también con el potencial de generar efectos ambientales y sociales adversos.

La estructura organizacional enviada describe la superintendencia de operaciones en una empresa minera. Esta superintendencia gestiona las operaciones cotidianas de la mina, incluyendo logística, seguridad, administración y Superintendencia de Operaciones

La Superintendencia de Operaciones es liderada por un jefe de Operaciones, encargado de planificar, ejecutar y supervisar todas las actividades operativas. Este jefe de Operaciones informa directamente al Gerente

Departamentos

La Superintendencia de Operaciones se divide en cuatro d

- **Logística:** Es
- **Seguridad:** Este
- **Administración:** Responsable de la administración de la mina, a incluir finanzas, recursos humanos y contabilidad. Dirigido por un Supervisor de Administración, quien informa al jefe de Operaciones.
- **Planeamiento:** Este departamento se encarga de la planificación a corto y largo plazo de las operaciones. Está liderado por un jefe de Planeamiento, quien reporta al jefe de Operaciones.

En la figura 6 se observa el organigrama, el cual refleja una estructura organizativa típica para una superintendencia de operaciones en una empresa minera, diseñada para asegurar la eficiencia y eficacia de las operaciones. Ver figura 6.

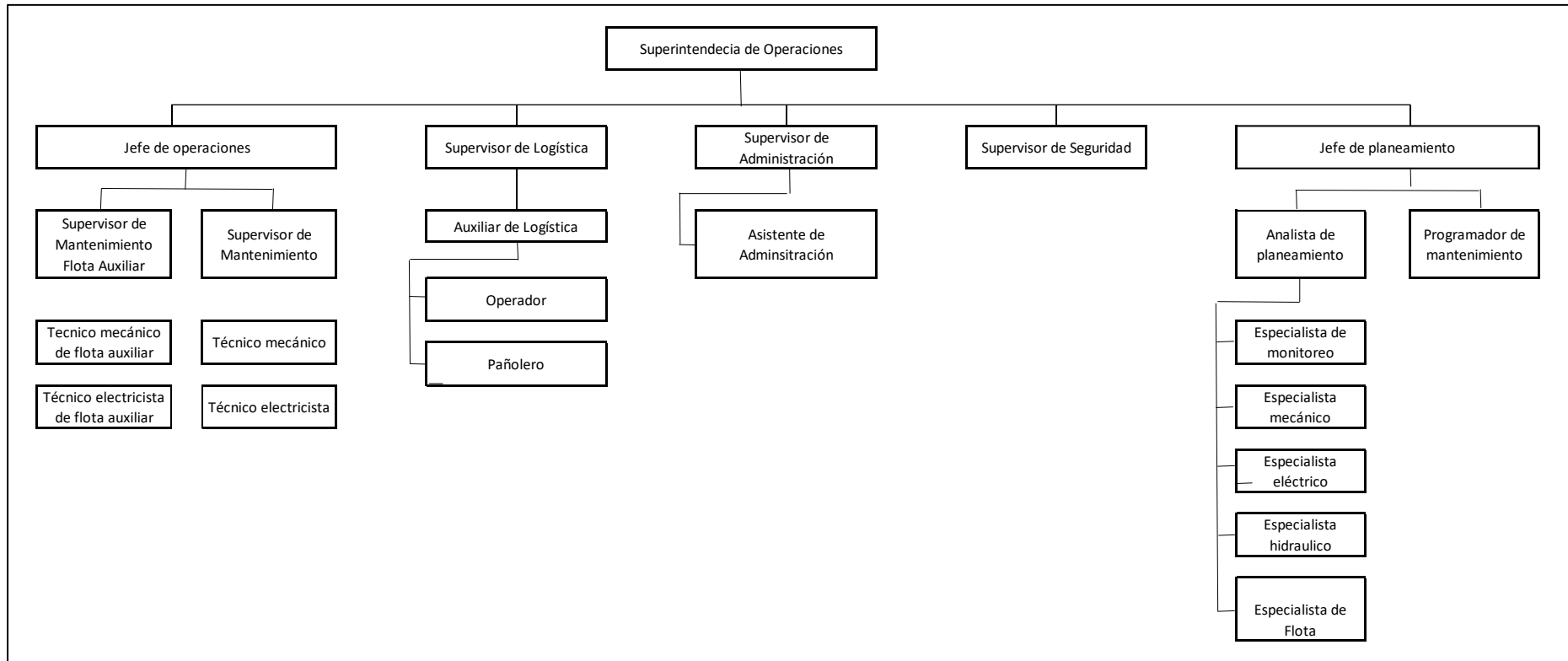


Figura 6: Organigrama de la empresa

Fuente: La empresa (2024)

Con la intención de conocer los procesos de la empresa, se realiza el diagrama SIPOC ver la figura 7, para identificar las entradas, salidas, procesos y medidas que se toman en la empresa.

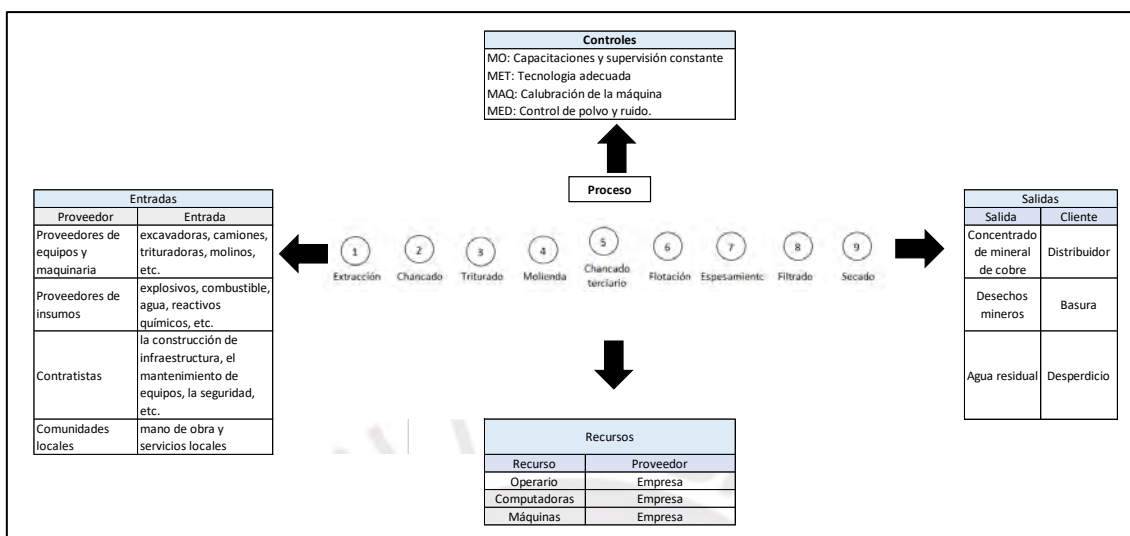


Figura 7: Diagrama SIPOC de la empresa

Fuente: La empresa (2024)

La capacidad de proceso de chancado en la minera es de aproximadamente 360,000 toneladas por día (tpd). Esto se divide en las siguientes etapas:

- Chancado primario: 240,000 tpd
- Chancado secundario: 80,000 tpd
- Chancado terciario: 40,000 tpd

La planta de chancado es una de las más grandes del Perú. Hace uso de la tecnología para reducir el tamaño del mineral de cobre de grandes rocas a fragmentos pequeños que pueden ser procesados en las etapas posteriores de la planta concentradora.

La planta de chancado funciona las 24 horas del día, los 7 días de la semana para garantizar un suministro constante de mineral procesado a la planta concentradora. La eficiencia de la planta de chancado es fundamental para el éxito de la operación minera de la empresa. En la figura 8 se muestra el diagrama de operaciones de procesos. Ver la figura 8.

Diagrama de operaciones del proceso de extracción de cobre

Extracción de minerales:

La etapa inicial del proceso consiste en la extracción de los minerales de cobre de la roca. Esto se puede hacer mediante métodos de minería a cielo abierto o subterránea. En el caso de la minería a cielo abierto, se utilizan grandes máquinas para excavar la roca y transportarla a una planta de procesamiento. En la minería subterránea, los mineros descienden a la tierra para extraer el mineral de cobre.

Chancado primario:

Una vez que el mineral de cobre se ha extraído, se transporta a una planta de procesamiento donde se tritura en trozos más pequeños. El chancado primario se realiza utilizando grandes trituradoras que rompen el mineral en trozos de aproximadamente 30 cm de diámetro.

Chancado secundario:

El mineral triturado en el chancado primario se transporta a una etapa de chancado secundario, donde se reduce aún más su tamaño. En esta etapa, se utilizan trituradoras más pequeñas que rompen el mineral en trozos de aproximadamente 1 cm de diámetro.

Traslado en faja transportadora:

El mineral triturado en el chancado secundario se transporta a la siguiente etapa del proceso mediante una faja transportadora. Las fajas transportadoras son bandas de goma largas que transportan el material de un lugar a otro.

Triturado:

En la etapa de triturado, el mineral se reduce aún más su tamaño hasta obtener un polvo fino. El triturado se realiza utilizando molinos de bolas o molinos de barras.

Molienda:

En la etapa de molienda, se muele aún más hasta obtener un polvo fino. La molienda se realiza utilizando molinos de bolas o molinos de barras.

Chancado terciario:

En la chancadora, se tritura por última vez para liberar las partículas de mineral de cobre de la roca.

Flotación:

La flotación es un método empleado para separar el mineral de cobre de la roca. En este proceso, se añade a la pulpa un agente espumante que provoca que las partículas de mineral de cobre se adhieran a las burbujas de aire. Estas burbujas, junto con las

partículas de cobre, ascienden a la superficie de la pulpa, mientras que la roca se hunde hacia el fondo.

Espesamiento:

En las espesadoras, el concentrado de mineral de cobre se mezcla con una pequeña cantidad de agua para crear una pasta espesa.

Filtrado:

El concentrado de mineral de cobre espesado se filtra para eliminar el agua restante.

El producto final del proceso de extracción y procesamiento de cobre es el concentrado de mineral de cobre.



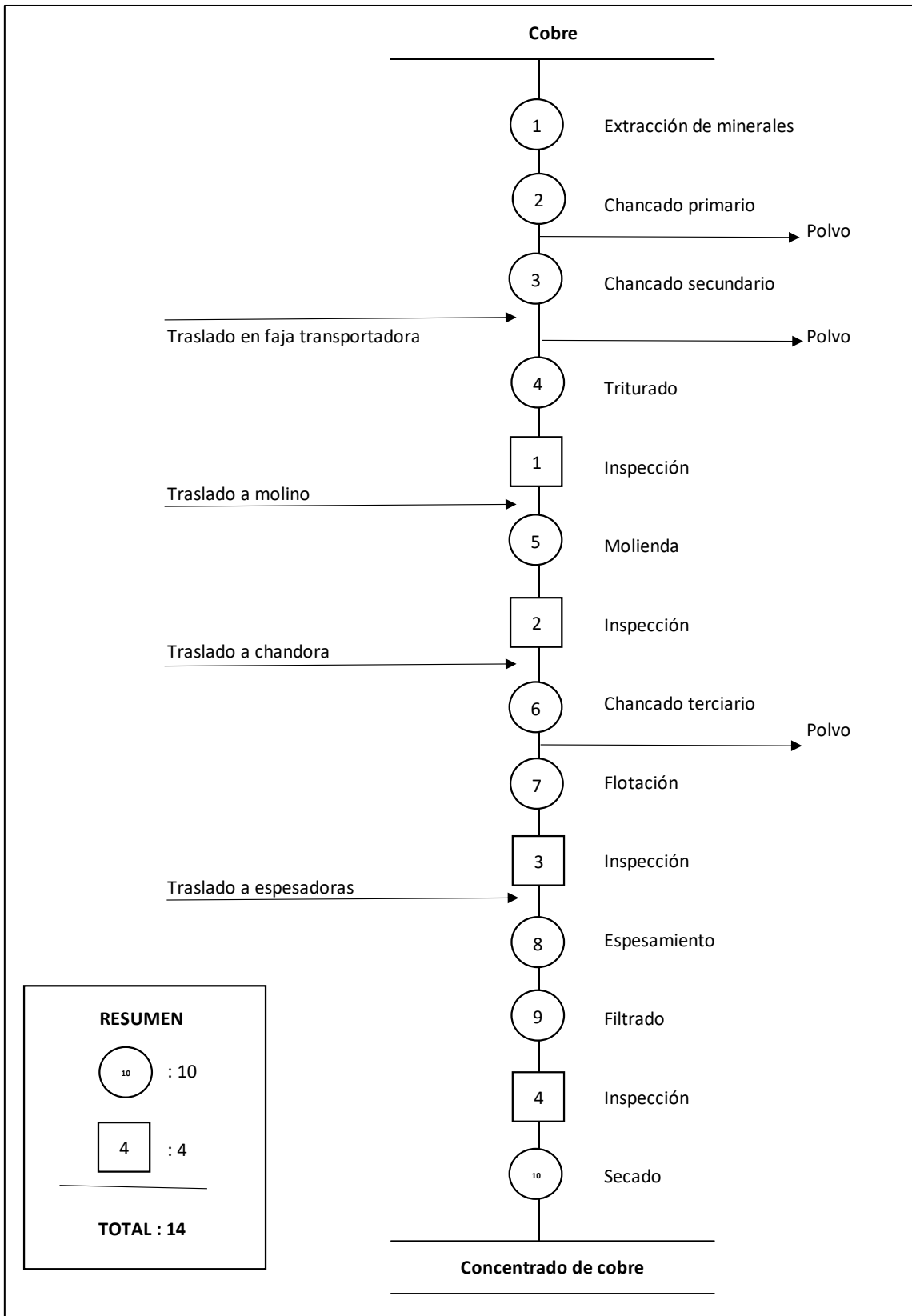


Figura 8: Diagrama de análisis de procesos de la empresa

Fuente: La empresa (2024)

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO DE MEJORA

En este capítulo se lleva a cabo un análisis detallado y un diagnóstico exhaustivo del proyecto de mejora propuesto para la empresa.

3.1. Justificación del área

Para entender el estado actual de la empresa, se solicitó el apoyo de un operario con años de experiencia dentro de la empresa, con la finalidad de conocer mejor los procesos y darle a cada uno un grado de relevancia al cual enfocar el estudio. De ello, se obtiene información relevante en la tabla 1, sobre la importancia de cada área en cuanto a los siguientes factores:

Tabla 1: *Importancia de cada área según factores*

Factor	Área	Importancia	Justificación
Impacto en la producción	Operaciones	Muy alta	Es el área responsable de la extracción, procesamiento y transporte del mineral, actividades esenciales para la generación de ingresos de la minera.
Eficiencia de los procesos	Logística	Alta	Una logística eficiente optimiza el movimiento de materiales y recursos, reduciendo costos y tiempos de producción.
Planificación estratégica y toma de decisiones	Planeamiento	Alta	Traza las metas a largo plazo, las estrategias para alcanzarlos y asigna los recursos necesarios, siendo crucial para el éxito de la minera.
Cumplimiento de normativa y seguridad	Seguridad	Alta	Garantiza la seguridad de los trabajadores, previene accidentes y protege el medio ambiente, aspectos fundamentales para la sostenibilidad de la minera.
Administración de recursos y control financiero	Administrativa	Media	Administra los recursos humanos, financieros y materiales de la minera, garantizando su operación eficiente.

Entonces, se concluye que la zona de operaciones es la más relevante en la entidad minera debido a su papel fundamental en la generación de ingresos, su influencia en las

demás áreas, el cumplimiento de objetivos, la gestión de riesgos y el impacto ambiental y social.

3.2. Justificación del proceso

Una vez que se obtiene la relevancia de una sola área de la empresa a plantear una mejora, se tiene en cuenta una comparativa entre los procesos dentro del área de operaciones, ello debido a que en su mayoría se trabaja con máquinas y a cada una de ellas, se le realiza mantenimientos preventivos para evitar fallas. Sin embargo, la maquina chancadora es quien recibe mayor mantenimiento, a saber:

Tabla 2: *Comparativa de los procesos*

Principales procesos con maquinaria	Cantidad de Mantenimientos preventivos	Inspecciones x día
Chancado	Cada 2 meses	6 a 8 veces
Molienda	Cada 4 meses	2 veces
Triturado	Cada 4 meses	4 veces
Molienda	Cada 4 meses	4 veces
Flotación	Cada 4 meses	4 veces
Espesamiento	Cada 5 meses	4 veces
Filtrado	Cada 5 meses	3 veces
Secado	Cada 5 meses	4 veces

El proceso de chancado en una minera es crucial, ya que inicia la preparación del mineral para su posterior procesamiento. Su relevancia reside en que define el tamaño y granulometría del material, impactando directamente en las etapas siguientes. Sin embargo, este proceso genera polución por polvo y ruido, además de contaminar el aceite de las maquinarias, requiriendo mayor lubricación. Por ello, se dan inspecciones contantes para medir el polvo, ruido y a su vez, es el proceso que recibe mayor mantenimiento preventivo para minimizar el impacto ambiental y asegurar la eficiencia de la operación.

3.3. Justificación del proceso de Chancado

Se ha evidenciado que la maquina chancadora realiza mayores mantenimientos, pues la polución generada desgasta las piezas, al contaminar el aceite, la lubricación dura poco a diferencia de otras máquinas, haciendo que se contamine el aceite y se deba volver a lubricar. Al tratarse del primer proceso de toda la actividad, se necesita realizar un análisis con las posibles causas en la figura 9, a continuación:

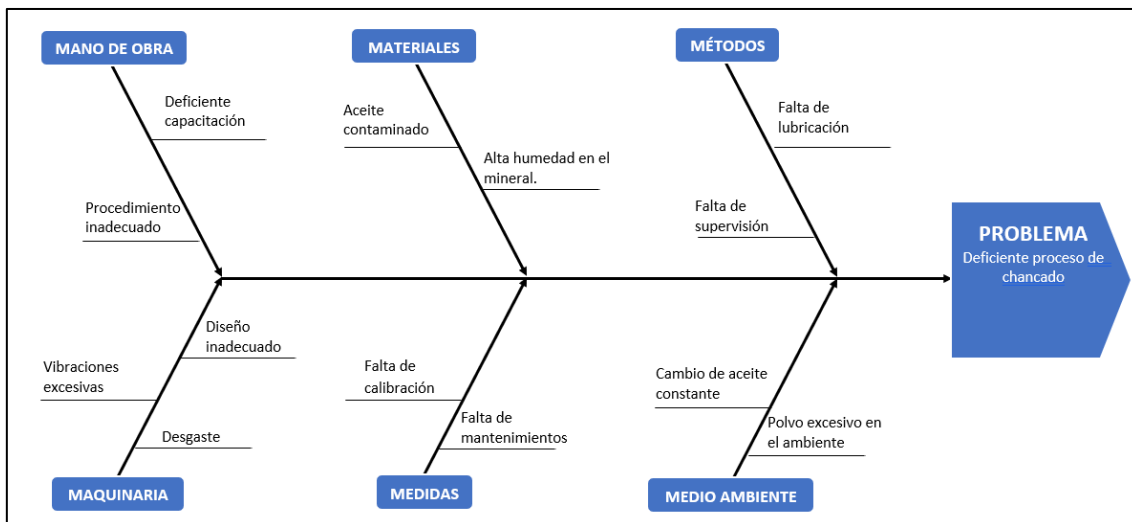


Figura 9: Matriz causa-efecto

Diagrama de Pareto

A medida que se encuentra cada causa, comenzamos a clasificarla, de más frecuente a menos frecuente, luego se crea un diagrama de Pareto, que reconoce el 80% de los fallos que ocurren en el 20% de los casos. Ver la tabla 3.

Tabla 3: *Análisis de frecuencia de principales causas*

Principales causas	Frecuencia	% Frecuencia	% Acumulado
Contaminación por polvo	38	34.23%	34.23%
Mantenimiento deficiente	33	29.73%	63.96%
Falta de supervisión	18	16.22%	80.18%
Deficiente capacitación	8	7.21%	87.39%
Diseño inadecuado de la maquinaria	7	6.31%	93.69%
Procedimientos inadecuados	7	6.31%	100.00%
Total	111	100%	

En la Figura 10 se presenta las principales causas y como esta se divide en el teorema de 80-20 de un diagrama de Pareto:

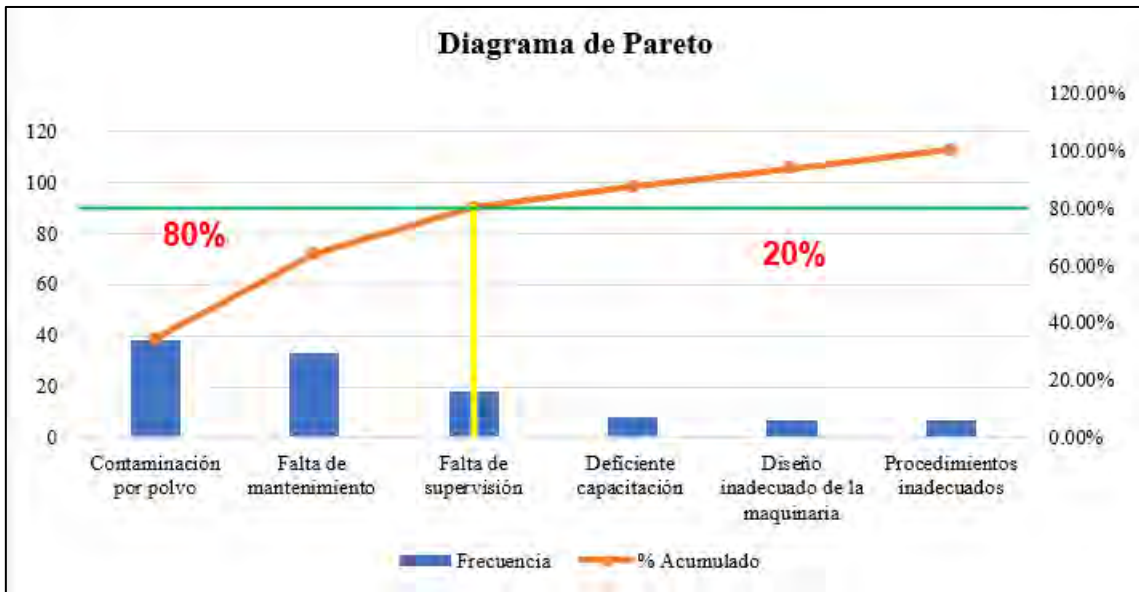


Figura 10: Diagrama de Pareto

El análisis del diagrama de Pareto revela que la contaminación por polvo (34.23%), la falta de mantenimiento (29.73%) y la falta de supervisión (16.22%) son las causas primordiales de los fallos en el proceso de chancado, representando el 80.18% del total. Estas causas críticas requieren atención prioritaria para mejorar la calidad del proceso de chancado. Ver la figura 11.

Con la intención de conocer la causa raíz del problema identificado, es necesario analizarlo en un diagrama de los 5 por qué's para un mejor entendimiento:

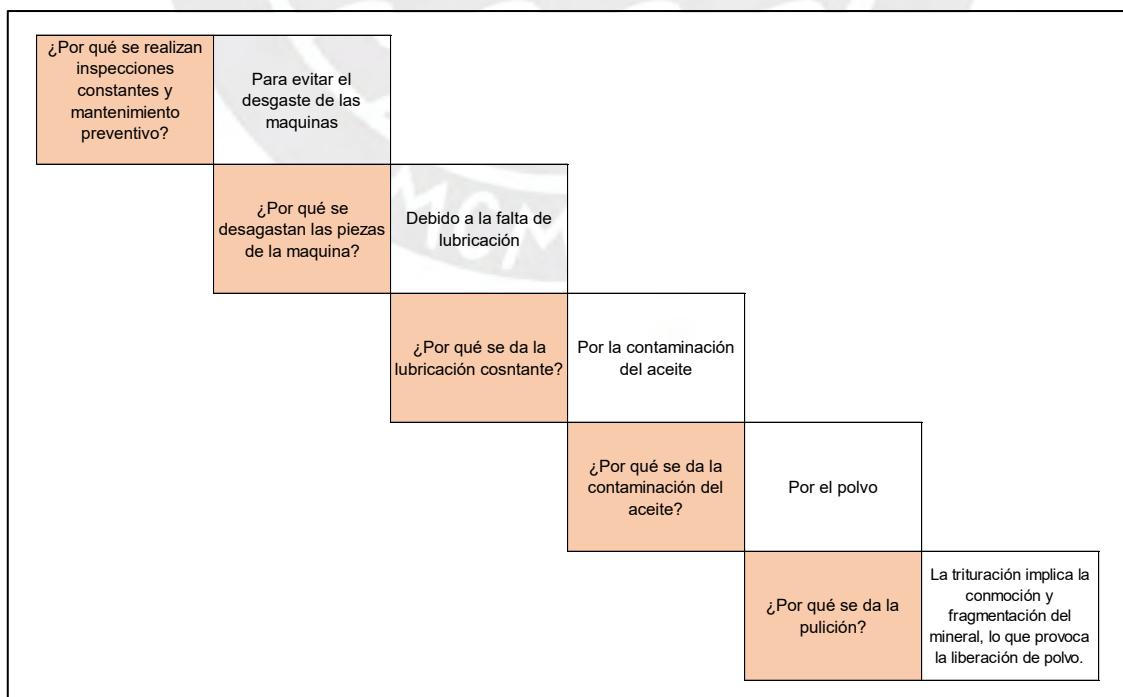
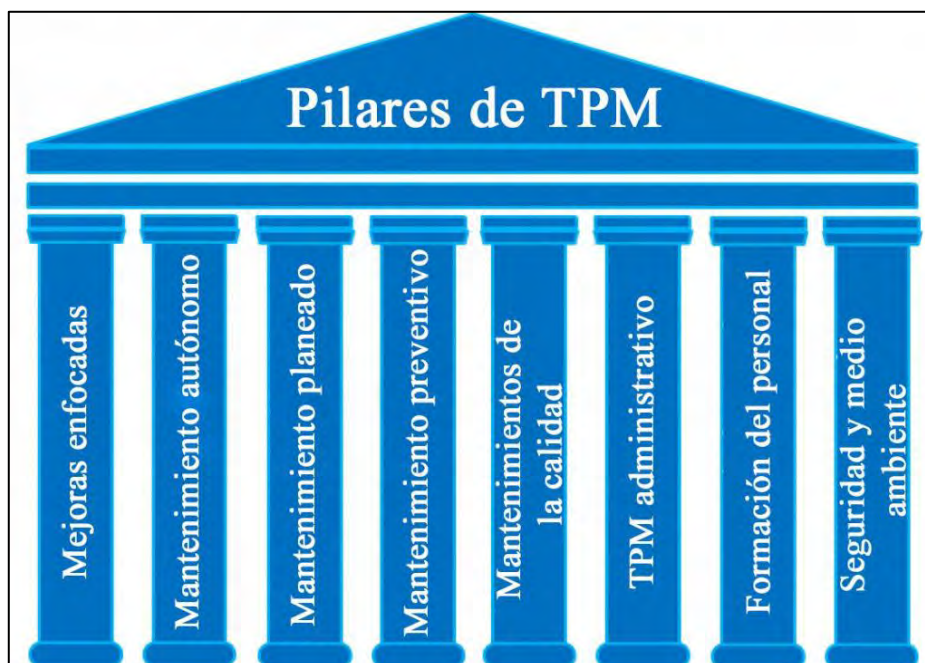


Figura 11: Evaluación de los 5 por qué's

3.4. Determinación de las contramedidas

Dado el escenario presentado, es esencial realizar un análisis exhaustivo y aplicar las medidas correctivas apropiadas. Para esto, la metodología Lean resulta útil para identificar y eliminar desperdicios en la gestión del mantenimiento. Además, se implementará la herramienta TPM (Mantenimiento Productivo Total) con el objetivo de aumentar la confiabilidad y eficiencia de la chancadora mediante un enfoque proactivo en el mantenimiento, a continuación, se presentan los 8 pilares del TPM, ver la figura



12.

Figura 12: Pilares del TPM

Fuente: Google (2024)

Para abordar los principales problemas con sus causas principales se llevará a cabo 3 pilares del TPM, ver la tabla 4.

Tabla 4: *Análisis de problemas y contramedidas*

Problema principal	Causas principales	Herramienta/Contramedida
Contaminación por polvo	Proceso de chancado	TPM: Primer pilar
	Maquinarias expuestas	
	Vibraciones excesivas	
Mantenimiento deficiente	Insuficiente cambio de aceite	TPM: Segundo pilar
	Inadecuada lubricación	
	Desgaste de piezas	
Falta de supervisión	Jefes no monitorean	
	Falta de indicadores de medida	

1er Pilar: Mejora continua

Ayuda a detectar zonas en la planta que necesitan optimización para reducir o erradicar cualquier forma de desperdicio. Esto se puede alcanzar empleando herramientas estratégicas como el mapeo de la cadena de valor, el análisis de brechas y la teoría de restricciones.

2do Pilar: Mantenimiento autónomo

Permite identificar áreas que necesitan mejoras para disminuir todas las maneras de despilfarro. El operario está listo para realizar cambios sobre la maquinaria, puede realizar ajustes, lubricaciones y mantenimientos básicos.



CAPITULO 4: PROPUESTA DE MEJORA

Se harán recomendaciones de mejora, detallando sus aplicaciones, procedimientos, resultados y beneficios. Las herramientas recomendadas estarán en un orden específico, comenzando con el primer pilar del TPM, ya que, en la medida de mejora continua, se planea implementar un sistema de filtración de aceite para contrarrestar la contaminación por polvo. A continuación, es recomendable aplicar el mantenimiento autónomo, puesto que los operarios deben conocer la calidad del aceite y las fallas frecuentes de la máquina, de modo que tengan conocimiento de la lubricación de la maquina chancadora. El mantenimiento autónomo se puede realizar en paralelo con el tercer pilar, mantenimiento planeado, debido a que se planifican las actividades para maximizar la disponibilidad de la maquina chancador. Con los métodos anteriores planteados, el operador podrá corregir el error y evitar que vuelva a ocurrir. Asimismo, se podrá volver a reutilizar el aceite con el sistema de filtración a plantear.

A continuación, se muestra el orden de los pasos a realizar en la tabla 5:

Tabla 5: Orden de las contramedidas

Orden	Herramienta/Contramedida
1°	TPM: Primer pilar
2°	TPM: Segundo pilar

Justificación de la propuesta

La propuesta no abraza todos los pilares del TPM porque no son relevantes para el problema específico que se está abordando. El problema principal es la contaminación del aceite en la chancadora, el cual es causado por la polución y desgasta las piezas, lo que requiere un mayor mantenimiento y reduce la vida útil del aceite. Los dos pilares del TPM que se están utilizando, el Primer Pilar (Mejora Continua) y el Segundo Pilar (Mantenimiento Autónomo), están específicamente diseñados para abordar este problema.

Primer Pilar: Mejora Continua

El Primer Pilar se enfoca en identificar y eliminar desperdicios en el proceso de producción, el desperdicio principal es el aceite contaminado. La implementación de un sistema de filtración de aceite ayudará a reducir este desperdicio al permitir la reutilización del aceite, lo que a su vez reducirá los costos y el impacto ambiental.

Segundo Pilar: Mantenimiento Autónomo

El Segundo Pilar se enfoca en capacitar a los operadores para que puedan realizar tareas básicas de mantenimiento en sus equipos, los operarios serán capacitados para realizar cambios de aceite, inspeccionar componentes clave y reportar fallas. Esto ayudará a prevenir el desgaste prematuro de las piezas y a reducir el tiempo de inactividad de la máquina.

Los otros pilares del TPM no son tan relevantes para este problema específico; por ejemplo, el Tercer Pilar (Mantenimiento Planificado) se enfoca en desarrollar un plan de mantenimiento preventivo para todo el equipo. Sin embargo, la empresa ya cuenta con planes preventivos de mantenimiento para cada una de las máquinas.

En líneas siguientes se describirá la aplicación de las herramientas dadas para los inconvenientes presentados:

4.1. Aplicación del TPM

Se sugiere implementar esta herramienta con el propósito de incrementar de forma continua la eficiencia y confiabilidad en las áreas de Inyección y Soplado, mediante la aplicación del TPM. Para lograr que esta iniciativa sea exitosa, es esencial asignar responsabilidades al equipo encargado de su ejecución. Por lo tanto, se planificará una capacitación completa para el personal involucrado, que incluirá tantos conceptos introductorios como aspectos teóricos y prácticos relacionados con la metodología TPM.

El equipo de trabajo para supervisar la incorporación del TPM se observa en la figura 13 y estará constituido por:

- **Jefe de Operaciones:** Encargado principal de liderar el equipo responsable de aplicar el TPM en las áreas de Inyección y Soplado. Su experiencia operativa y conocimiento del funcionamiento interno de la planta lo hacen ideal para liderar este proyecto.
- **Jefe de Planeamiento:** Responsable de respaldar al Jefe de Operaciones en la planificación estratégica y en la alineación de los objetivos del TPM con los planes de producción y mantenimiento a largo plazo. Su enfoque en la planificación y optimización de los recursos será fundamental para el éxito del proyecto.
- **Operarios más experimentados:** Colaborarán estrechamente con el jefe de Operaciones y el jefe de Planeamiento para transmitir conocimientos y buenas prácticas a los demás trabajadores y operarios.

- Capacitadores: Encargados de proporcionar la formación necesaria sobre los principios y metodologías del TPM, así como de guiar a los empleados a lo largo del proceso de implementación.
- Auditores: Responsables de llevar a cabo auditorías regulares para asegurar que se cumplan los estándares del TPM y para detectar oportunidades de mejora continua en el proceso de producción.

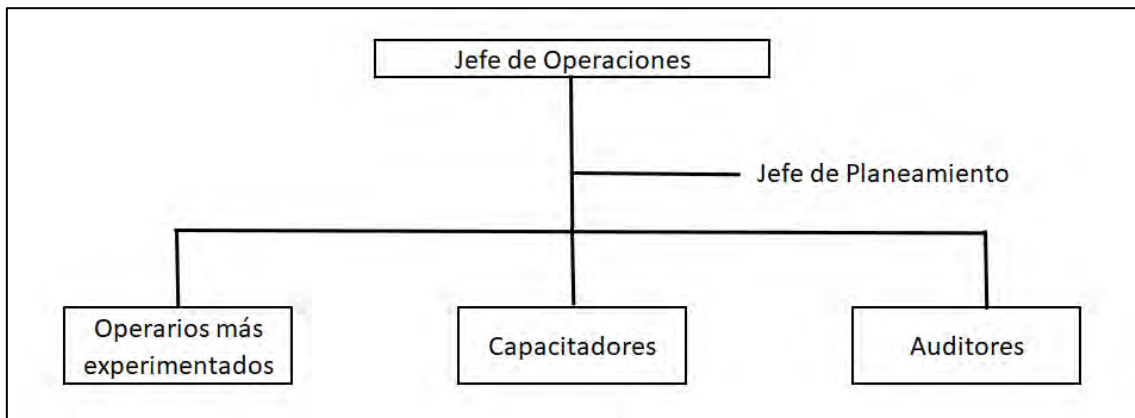


Figura 13: Organigrama del equipo de trabajo

1er Pilar: Mejora continua

Para el primer pilar del TPM, que se centra en optimizar la eficiencia del equipo, se sugiere la implementación de un sistema de filtración de aceite que facilite su reutilización. Este sistema estará diseñado para contrarrestar la contaminación del aceite por polvo u otras partículas, prolongando así su vida útil y reduciendo los costos asociados con la compra de nuevo aceite. El sistema de filtración se instalará de manera estratégica en el equipo, garantizando una limpieza efectiva del aceite y manteniendo su calidad dentro de los estándares necesarios para un funcionamiento óptimo del equipo.

Sistema de microfiltración

Se necesita de un equipo de microfiltración, esto es crucial para mantener la eficiencia y durabilidad de la maquinaria, especialmente en contextos donde la chancadora genera polución que contamina el aceite. Este sistema utiliza membranas finas para eliminar partículas sólidas y otros contaminantes del aceite, previniendo su desgaste prematuro y prolongando su vida útil. Por estas razones, se planea la compra de un equipo de microfiltración, ya que permitirá mantener el aceite limpio, mitigar los costos de revisión y el tiempo inactivo de la maquinaria, mejorar el rendimiento operativo y disminuir el

impacto ambiental debido a la reducción en la disposición de aceites contaminados, lo que también ayudará a cumplir con normativas ambientales y de seguridad.

Con el fin de mejorar el problema de la contaminación del aceite y la eficiencia operativa, se planea la compra de un equipo de microfiltración. Con este fin, ya se ha iniciado el proceso de cotización con varios proveedores, evaluando opciones que se ajusten a nuestras necesidades técnicas y presupuestarias, garantizando una solución eficaz y rentable para nuestra operación minera.

Limitaciones

No todos los aceites son aptos para este proceso. Antes de su aplicación, es necesario realizar un muestreo y evaluar los resultados para determinar si el aceite puede ser procesado por el sistema de filtración. En caso de que el aceite no sea adecuado, será necesario cambiarlo por uno nuevo.

Requerimientos por máquinas

A continuación, en la tabla 6 se muestra los requerimientos del sistema de microfiltración por cada maquinaria dentro del área de chancado. En la tabla 6, 7 y 8, se observa los requerimientos por las máquinas mostradas en las figuras 14, 15 y 16.

Tabla 6: *Requerimiento para Molinos SAG y Molinos de Bolas*

Molinos SAG y Molinos de Bolas
Sistema de Lubricación
1.- Capacidad: 4,576 lts
2.- Viscosidad: ISO VG 220
3.- Temperatura de trabajo: 38 °C
4.- Altura geográfica: 4300 msnm
5.- Tensión eléctrica: 440 VAC
6.- Frecuencia de corriente eléctrica: 60 Hertz
7.- Intervalo de cambio de aceite actual = 8,000
8- Código ISO Objetivo: 16/14/13
9- Equipo de Microfiltración actual: Oil Filtration Systems y Marco Peruana (foto)
10- Tiempo de microfiltrado actual: 02 a 05 días
Solicitudes adicionales:
El cliente quiere evaluar un equipo portátil Vs un equipo On Board (Synthec recomienda un On Board para todos)

Cantidad solicitada: 01 equipo x molino "5 molinos" (en caso sea On Board)

Necesidades actuales:

El cliente requiere de soporte para la puesta en marcha, mantenimiento y correcto uso del equipo, así como capacitación del uso a los técnicos.

Objetivo: Reducir el tiempo de microfiltración.



Figura 14: Molinos SAG y Molinos de Bolas

Tabla 7: *Requerimiento para Chancadora Primaria*

Chancadora Primaria
Sistema de Lubricación
1.- Capacidad: Its
2.- Viscosidad: ISO VG 220 (Shell Omala S2 GX 220)
3.- Temperatura de trabajo: 27 °C
4.- Altura geográfica: 4300 msnm
5.- Tensión eléctrica: 440 VAC
6.- Frecuencia de corriente eléctrica: 60 Hertz
7.- Intervalo de cambio de aceite actual = 01 a 02 años según condición.
8.- Código ISO Objetivo:
9.- Equipo de Microfiltración actual: Oil Filtration Systems
10.- Tiempo de microfiltrado actual: 02 días
Solicitudes adicionales:
Se requiere un equipo de microfiltración On Board / Equipo móvil de microfiltración.

Cantidad solicitada:
Necesidades actuales:
El cliente requiere de soporte para la puesta en marcha, mantenimiento y correcto uso del equipo, así como capacitación del uso a los técnicos.
Objetivo: Reducir el tiempo de microfiltración.



Figura 15: Chancadora Primaria

Tabla 8: *Requerimiento para Chancadora Secundaria*

Chancadora Secundaria
Sistema de Lubricación
1.- Capacidad: 2,496 lts
2.- Viscosidad: ISO VG 150 (Shell Omala S2 GX 150)
3.- Temperatura de trabajo:
4.- Altura geográfica: 4300 msnm
5.- Tensión eléctrica: 440 VAC
6.- Frecuencia de corriente eléctrica: 60 Hertz
7.- Intervalo de cambio de aceite actual = 01 a 02 años según condición.
8- Código ISO Objetivo: 18/16/14
9- Equipo de Microfiltración actual: Oil Filtration Systems
10.- Tiempo de microfiltrado actual: 02 días
Solicitudes adicionales:
Se requiere un equipo de microfiltración On Board / Equipo móvil de microfiltración.

Cantidad solicitada:
Necesidades actuales:
El cliente requiere de soporte para la puesta en marcha, mantenimiento y correcto uso del equipo, así como capacitación del uso a los técnicos.
Objetivo: Reducir el tiempo de microfiltración.



Figura 16: Chancadora Secundaria

Cotización de equipos de microfiltración

A continuación, se muestran las cotizaciones según los requerimientos de las tablas anteriores. Ver figura 17 y 18.

Señores:	MINERA LAS BAMBAS S.A.	Teléfono:
Atención:	Ing. Edwin Arica	
Dirección:	Planta Concentradora	
E-Mail:	edwin.arica@mms.com	

Moneda:	Dólares (US\$)
Cond/Pago:	Incursión en día
Entrega:	dentro de 14 a 16 semanas
Vigencia:	30 días

Marca / Código	Descripción	Cantidad	Valor Unid.	Valor Venta
DUTCH/RMF	UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN ON-BOARD RMF MOD. OLU2B60G3 C/FILTRO DE 3 MICRAS Unidad para sistemas de lubricación de chancadora primaria y molinos. Código: DS-OLU2B60G3B05104D Características del equipo: Unidad RMF OLU2B de doble carcasa Motor 380V/60Hz, 0.75 KW, 3F Bomba especial de 12 CC Capacidad de filtrado de hasta 5,400 litros Caja de control para On/Off Bandeja de contención Dimensiones: 72 cm (H) x 34 cm (L) x 31 cm (A) Peso: 45 kg La unidad incluye 02 filtros 60G3B de 03 micras	5	7,245.00	36,225.00
DUTCH/RMF	UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN ON-BOARD RMF MOD. OLU52B60G3 C/FILTRO DE 3 MICRAS Y CMS Unidad para sistemas de lubricación de chancadora primaria y molinos. Código: DS-OLU52B60G3B051010D Características del equipo: Mimas característica que el modelo OLU2B60G3 Centro de monitoreo de aceite CMS* * El CMS puede configurarse para monitorear el aceite de forma remota. El usuario recibe información sobre la condición del aceite como nivel de limpieza y humedad en tiempo real. El CMS envía una alerta cuando el aceite supera los parámetros establecidos.	5	13,788.00	68,940.00
RMF	FILTRO DE ACEITE RMF 60G3B - 3 MICRAS Código: DS-60G3B	30	387.07	11,612.10



Observaciones: Se cotizan filtros adicionales para ser cambiados en el primer periodo de trabajo.

Base Gravable	S	116,777.10
I.G.V. (18%)	S	21,019.88
Total	S	137,796.98

Figura 17: Cotización 1

Señores:	MINERA LAS BAMBAS S.A.	Teléfono:
Atención:	Ing. Edwin Arica	
Dirección:	Planta Concentradora	
E-Mail:	edwin.arica@mmg.com	

Moneda:	Dólares (US\$)
Cond/Pago:	120 días
Entrega:	entre el 14 y 16 octubre
Vigencia:	30 días

Marca / Código	Descripción	Cantidad	Valor Unit.	Valor Venta
DUTCH/RMF	<p>EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)</p> <p>Equipo portátil para microfiltración de aceite ISO VG 220 (gear oil) que es utilizado en molinos, chancadora primaria y secundaria Código: D5-DHOLM6FST1IC08HV11 Características del equipo: Unidad de microfiltración de última generación RMF GOLUB Motor 380V/60Hz, 3 KW, 3F Bomba de alta viscosidad con caudal de 90 l/min Tablero estándar Centro de monitoreo en línea (CMS) * Manómetro e interruptor de diferencia de presión Indicador de saturación eléctrico Mangueras para succión y retonor de 3 metros Dimensiones: 120 cm (L) x 100 cm (A) x 170 cm (H) Peso: 263 kg La unidad incluye 01 filtro RMF DH01GB de 1 micra</p>	3	23,595.00	70,785.00
				
DUTCH/RMF	<p>EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN AUTONOMO RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)</p> <p>Equipo portátil autónomo para microfiltración de aceite ISO VG 220 (gear oil) Código: D5-DHGM1F8TAIC18HV1100 Características del equipo: Mimas característica que el modelo DH-G Panel de control PLC/HMI Bomba con flujo regulable Dimensiones y peso: 120cm (L) x 100cm (A) x 170cm (H) -450 kg La unidad incluye 01 filtro RMF DH01GB de 1 micra Unidad autónoma: En la unidad sólo se debe energizar y dar Partida. El equipo funcionará totalmente autónomo (sin la intervención del operario) hasta alcanzar el código ISO requerido. El equipo lleva un registro de todos los trabajos realizados</p>	3	32,604.00	97,812.00
				
RMF	<p>FILTRO DE ACEITE RMF DH01GB - 01 MICRA Código: D5-DH01GB</p>	3	686.40	2,059.20

Observaciones: * El CMS puede ser configurado para monitorear el aceite en línea. El usuario recibe en su ordenador información en tiempo real del nivel de limpieza, humedad y otros indicadores.

Base Gravable	\$	170,656.20
I.G.V. (18%)	\$	30,718.12
Total	\$	201,374.32

Figura 18: Cotización 2

Tabla 9: Comparativa de las cotizaciones

COTIZACIÓN 1				COTIZACIÓN 2			
Equipo	Cantidad	Monto	Monto total	Equipo	Cantidad	Monto	Monto total
UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN ON-BOARD RMF MOD. OLU2B60G3 C/FILTRO DE 3 MICRAS	5	\$7,245.00	\$36,225.00	EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)	3	\$23,595.00	\$70,785.00
UNIDAD DE MICROFILTRACIÓN ON-BOARD RMF MOD. OLU2B60G3 C/FILTRO DE 3 MICRAS Y CMS	5	\$13,788.00	\$68,940.00	EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN AUTONOMO RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)	3	\$32,604.00	\$97,812.00
FILTRO DE ACEITE RMF 60G3B - 3 MICRAS	30	\$387.07	\$11,612.10	FILTRO DE ACEITE RMF DH01GB - 01 MICRA	3	\$686.40	\$2,059.20
TOTAL			\$116,777.10	TOTAL			\$170,656.20

Elección de la cotización

Si bien la Cotización 1 es más económica, la Cotización 2 ofrece ventajas significativas en cuanto a eficiencia, precisión y control. El CMS permite un monitoreo constante del aceite, mientras que la operación autónoma reduce la intervención manual. Además, el sistema cumple con los estándares ISO de calidad de aceite.

2do Pilar: Mantenimiento autónomo

Para desarrollar el mantenimiento autónomo para los operarios, con el objetivo de capacitar al operario para realizar mantenimientos básicos, cambios de aceite y conocer las fallas más frecuentes de la máquina chancadora, se requerirá un proceso estructurado y formativo:

- Identificación de tareas de mantenimiento básico: Se realiza una lista detallada de las tareas de mantenimiento básico que el operario deberá realizar en la máquina chancadora. Esto incluirá la lubricación de la máquina, la limpieza regular, la inspección visual de componentes clave y el cambio de aceite, entre

otros. Ver la tabla 10, el check list de las actividades a realizar y el mapa del equipo en la figura 19 donde se muestran los puntos críticos del área de chancado que el personal debe conocer.

Tabla 10: *Checklist de actividades a realizar*

ACTIVIDADES A REALIZAR:	L	M	M	J	V	S
1. Lubricación:						
Verificar puntos de lubricación según especificaciones del fabricante.						
Aplicar lubricante en puntos críticos.						
Registrar fecha y puntos lubricados en el log de mantenimiento.						
2. Cambio de Aceite con Microfiltración:						
Drenar aceite usado siguiendo medidas de seguridad.						
Filtrar aceite usado a través del equipo de microfiltración.						
Reemplazar filtros de aceite según programa de mantenimiento.						
Rellenar con aceite nuevo filtrado según especificaciones del fabricante.						
3. Inspección Visual de Componentes:						
Revisar correas de transmisión y reemplazar si muestran desgaste.						
Inspeccionar rodamientos y engranajes en busca de daños.						
Verificar alineación y tensión de correas y cadenas.						
4. Limpieza Regular:						
Limpiar superficie externa para eliminar polvo y residuos.						
Desobstruir conductos de ventilación y enfriamiento.						
Mantener área de trabajo libre de desechos.						
5. Verificación de Niveles y Estado de Fluidos:						
Comprobar niveles de aceite hidráulico, lubricante y refrigerante.						
Reponer fluidos según sea necesario.						
Inspeccionar visualmente fluidos en busca de contaminantes.						
6. Chequeo de Sistemas de Seguridad:						
Verificar funcionamiento de interruptores y dispositivos de protección.						
Asegurar que protecciones estén instaladas y en buen estado.						
7. Ajustes y Calibraciones:						
Ajustar tensión de correas y cadenas según sea necesario.						
Calibrar sensores y controles según especificaciones del fabricante.						
8. Identificación y Reporte de Fallas:						
Se ha registrado ruidos anormales, vibraciones o temperaturas elevadas.						
Se reporta anomalías al supervisor o departamento de mantenimiento.						
9. Revisión de Sistemas Eléctricos:						
Inspeccionar cables, conectores y terminales en busca de daños.						
Verificar funcionamiento de motores y actuadores eléctricos.						
10. Mantenimiento de Herramientas y Accesorios:						
Limpiar y mantener en buen estado las herramientas de mantenimiento.						
Almacenar herramientas correctamente para su uso.						

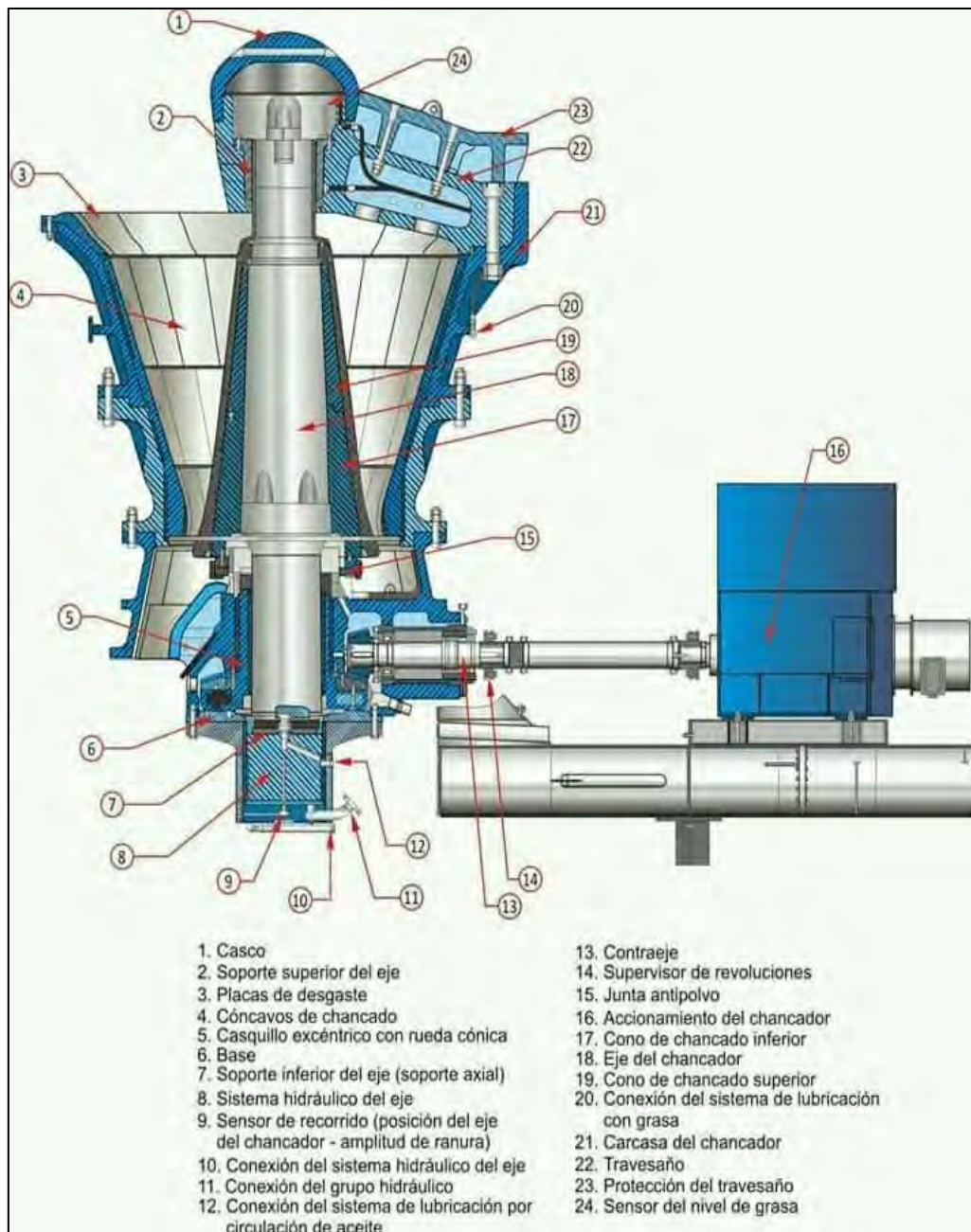


Figura 19: Partes de una máquina chancadora

- Capacitación del operario: Se debe proporcionar una capacitación exhaustiva al operario sobre los procedimientos estándar de trabajo y las tareas de mantenimiento básico, como se observa en la tabla 11. Esto puede incluir sesiones teóricas para comprender los conceptos básicos de mantenimiento y sesiones prácticas en las que el operario practique las tareas en la máquina chancadora bajo supervisión.

Tabla 11: *Programa de capacitación*

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN
Objetivo:
Capacitar a los operarios de mantenimiento en la implementación del mantenimiento autónomo utilizando la nueva máquina de microfiltración, asegurando la eficiencia y efectividad en las operaciones de mantenimiento de la máquina chancadora.
Participantes:
Responsable de Capacitación: Departamento de Recursos Humanos y Departamento de Mantenimiento.
Participantes: Operarios de mantenimiento asignados a la máquina chancadora
Duración:
El plan de capacitación se llevará a cabo durante dos semanas, con sesiones teóricas y prácticas para asegurar la comprensión y habilidades prácticas necesarias.
Calendario:
<p>Semana 1:</p> <p>Día 1: Introducción al mantenimiento autónomo y beneficios del uso de la máquina de microfiltración.</p> <p>Día 2: Teoría sobre lubricación y manejo de aceites con microfiltración.</p> <p>Día 3: Prácticas de cambio de aceite y uso del equipo de microfiltración.</p> <p>Día 4: Inspección visual de componentes y limpieza regular.</p> <p>Día 5: Evaluación teórica y práctica.</p> <p>Semana 2:</p> <p>Día 1: Verificación de niveles y estado de fluidos.</p> <p>Día 2: Chequeo de sistemas de seguridad y ajustes/calibraciones.</p> <p>Día 3: Identificación y reporte de fallas.</p> <p>Día 4: Revisión de sistemas eléctricos y mantenimiento de herramientas.</p> <p>Día 5: Evaluación final y revisión del plan de mantenimiento autónomo.</p>

Este enfoque de mantenimiento autónomo tiene como objetivo capacitar al operario para desarrollar labores elementales de mantenimiento, como cambios de aceite, y para identificar las fallas más comunes de la máquina chancadora, lo cual contribuirá a incrementar la eficiencia y confiabilidad de la operación.

Pasos a considerar para el correcto funcionamiento del sistema de filtración

Paso 1: Limpieza Inicial

Actividades:

- Realizar una limpieza exhaustiva de la máquina chancadora y sus alrededores.
- Identificar fuentes de contaminación y puntos críticos donde se acumula

suciedad.

- Registrar y etiquetar los problemas encontrados durante la limpieza (fugas de aceite, componentes desgastados, etc.).

Objetivo:

- Eliminar suciedad y contaminación inicial para tener una base limpia desde la cual trabajar.

Paso 2: Eliminación de Fuentes de Suciedad y Contaminación

Actividades:

- Instalar protecciones y sistemas de filtrado para minimizar la entrada de contaminantes a la máquina.
- Implementar un programa de cambio de filtros de aceite y aire.
- Sellar fugas de aceite y otros fluidos que puedan contaminar el ambiente de trabajo.
- Instalar sistemas de contención para el aceite usado y otros residuos.

Objetivo:

- Reducir y controlar las fuentes de contaminación para mantener la máquina limpia y operativa.

Paso 3: Creación de Estándares de Limpieza y Lubricación

Actividades:

- Desarrollar procedimientos estándar para la limpieza diaria, semanal y mensual de la máquina.
- Establecer un programa de lubricación con intervalos definidos y especificaciones del tipo de aceite a utilizar.
- Entrenar al personal en los procedimientos estándar y asegurar que todos entiendan la importancia de la limpieza y la lubricación.

Objetivo:

- Mantener la máquina en condiciones óptimas mediante la adherencia a estándares de limpieza y lubricación.

Paso 4: Inspección General y Mantenimiento Preventivo

Actividades:

- Realizar inspecciones periódicas de todos los componentes de la máquina (correas, motores, sistemas hidráulicos, etc.).
- Utilizar listas de verificación para asegurarse de que todas las áreas críticas se inspeccionen regularmente.
- Identificar piezas desgastadas o dañadas y reemplazarlas antes de que causen fallos en la máquina.

Cambio y Supervisión del Aceite

Programación del Cambio de Aceite

- Intervalos de Cambio: Se establecen intervalos regulares para el cambio de aceite según las recomendaciones del fabricante y las condiciones de operación (puede ser mensual, trimestral o según el análisis del aceite).
- Registro de Cambios: Se mantiene un registro detallado de cada cambio de aceite, incluyendo fecha, tipo de aceite utilizado, cantidad y cualquier observación relevante.

Preparación para el Cambio de Aceite

- Herramientas y Materiales: Se asegura que todas las herramientas y materiales necesarios (filtros de aceite, contenedores para aceite usado, equipos de limpieza) estén disponibles.
- Seguridad: Se utiliza un equipo de protección personal (EPP) adecuado y seguir los procedimientos de seguridad para manejar aceites y lubricantes.

Procedimiento de Cambio de Aceite (sistema de filtración)

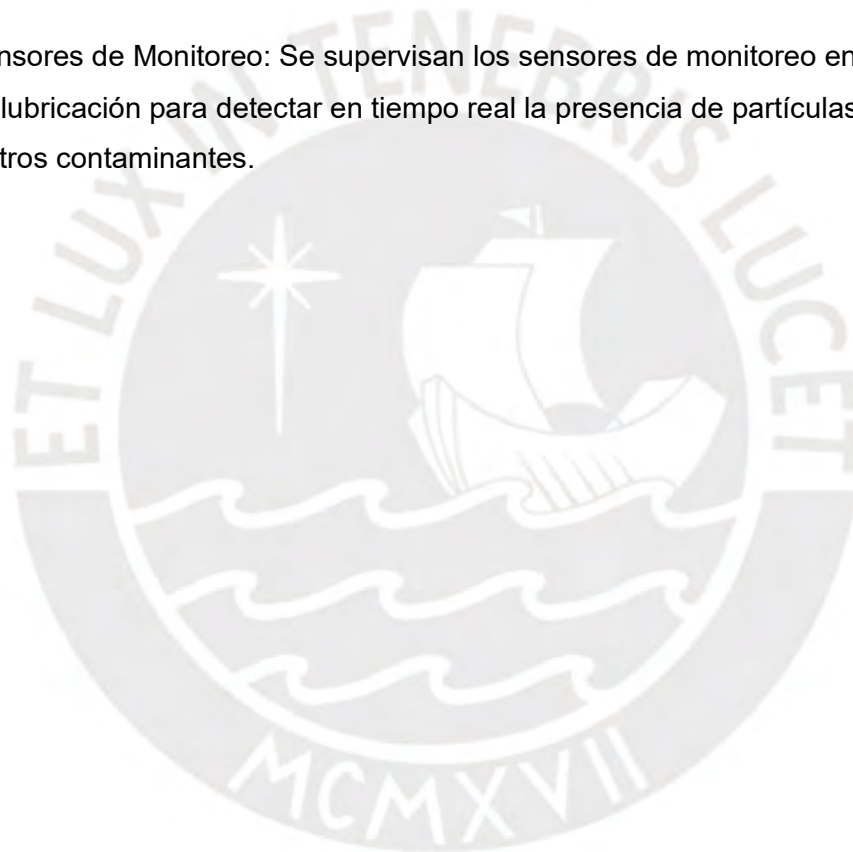
- Drenaje del Aceite Usado: Se drena completamente el aceite usado del sistema en un contenedor adecuado.
- Inspección del Aceite Usado: Se inspecciona el aceite drenado en busca de signos de contaminación, como partículas metálicas, agua o sedimentos, que pueden indicar problemas internos.
- Limpieza del Sistema: Se realiza una limpieza interna del sistema de lubricación si se detecta una alta contaminación. Utilizar limpiadores específicos para

eliminar residuos y depósitos.

- Reemplazo de Filtros: Se cambian los filtros de aceite para asegurar que no se reintroduzcan contaminantes en el sistema.
- Llenado con Aceite Nuevo: Se llena el sistema con el aceite nuevo adecuado según las especificaciones del fabricante.

Supervisión y Limpieza del Aceite

- Análisis de Aceite: Se realiza análisis periódicos del aceite (pueden ser mensuales) para monitorear la calidad del aceite, detectar contaminantes y medir propiedades críticas como la viscosidad y el índice de acidez.
- Sensores de Monitoreo: Se supervisan los sensores de monitoreo en el sistema de lubricación para detectar en tiempo real la presencia de partículas, humedad y otros contaminantes.



CAPITULO 5: EVALUACIÓN ECONOMICA Y FINANCIERA

En esta sección, se analiza la inversión inicial necesaria para adquirir la máquina de microfiltración, junto con los costos operativos relacionados con su uso y mantenimiento. Se detallan los beneficios económicos esperados, que incluyen la disminución en el uso de aceite, la disminución de los costos de mantenimiento al reducir la frecuencia de reemplazo de componentes gracias a una filtración eficiente del aceite, y la mejora en la eficiencia de la máquina chancadora, lo que conlleva un aumento en la productividad y una reducción en los tiempos de inactividad.

La evaluación económica y financiera es una herramienta fundamental para determinar la viabilidad y la rentabilidad de la implantación del plan de mantenimiento autónomo utilizando la máquina de microfiltración en la empresa minera. Este capítulo está dedicado a analizar en profundidad el impacto económico y financiero del proyecto, proporcionando una visión integral que permita a la organización tomar decisiones informadas y estratégicas. Ver la tabla 12.

Inversión

Tabla 12: *Inversión de la propuesta de mejora*

COTIZACIÓN 2			
Equipo	Cantidad	Monto	Monto total
EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)	3	\$23,595.00	\$70,785.00
EQUIPO DE MICROFILTRACIÓN AUTONOMO RMF MOD. DH-G C/FILTRO DE 1 MICRA Y CENTRO DE MONITOREO (CMS)	3	\$32,604.00	\$97,812.00
FILTRO DE ACEITE RMF DH01GB - 01 MICRA	3	\$686.40	\$2,059.20
Capacitación	Cantidad	Monto	Monto total
Charlas	10	\$100.00	\$1,000.00
Paquete de hojas	3	\$5.00	\$15.00
TOTAL			\$171,671.20

La inversión necesaria para la adquisición de la máquina de microfiltración y la capacitación asciende a un total de \$171,671.20 dólares. Dado el significativo monto involucrado, se contempla la opción de financiamiento externo para cubrir este costo. La evaluación detallará no solo los costos iniciales y operativos asociados, sino también

los beneficios económicos esperados, tales como la reducción en el consumo de aceite, la disminución de costos de mantenimiento por la efectiva filtración de aceite, y la mejora en la eficiencia de la máquina chancadora, que se traduce en una mayor productividad y menores tiempos de inactividad. Se planea que el 30% de la inversión sea financiada por el banco y el 70% por la empresa, siendo una relación D/E de 0.43, donde D hace referencia a la deuda con el banco y E, el capital propio o recursos propios de la empresa.

Datos a utilizar:

La tasa libre de riesgo se obtuvo del SBS:

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Nota-Semanal/2024/ns-15-2024.pdf>. La prima de riesgo fue obtenida de:

https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html. La beta apalancada del sector de metales preciosos se encuentra en:

https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html. Se analizará la tasa de descuento para el costo de capital propio (ke) de la empresa, considerando que la inversión se financiará tanto con recursos propios como con financiamiento externo (bancario), con una relación deuda-capital propio de 0.43. Esto significa que el 30% de la inversión será cubierta por el banco y el 70% por recursos propios.

Tabla 13: *Datos a considerar*

Ítem	Valor
Rf=tasa libre de riesgo	6.50%
Prima de riesgo: Rm-Rf	2.34%
B desapalancada	0.78
B apalancada	1.02
RP (Riesgo país)	1.65%
$Ke= Rf + B * (Rm - Rf) + RP$	15.20%

Cálculo del WACC (Costo medio ponderado de capital)

$$WACC = Ke E / (E + D) + Kd (1-T) D / (E + D)$$

$$WACC = 15.40\%$$

Se tiene en cuenta los ingresos para el año 2023 de \$3,417,000,000 de dólares. La inversión se planea amortiguarla en el plazo de un año, a continuación, se realiza el flujo de caja en la tabla 14, para el año de inversión:

Tabla 14: *Flujo de caja e inversión*

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cantidad vendida (tonelada pagable)		26232.01	26232.01	26232.01	26232.01	33726.87	26232.01	44969.16	33726.87	26232.01	26232.01	33726.87	44969.16
INGRESOS													
Ingresos		\$239,190,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$307,530,000	\$239,190,000	\$410,040,000	\$307,530,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$307,530,000	\$410,040,000
TOTAL INGRESOS SOLES		\$239,190,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$307,530,000	\$239,190,000	\$410,040,000	\$307,530,000	\$239,190,000	\$239,190,000	\$307,530,000	\$410,040,000
EGRESOS													
Inversión Total	\$171,671												
Costo de ventas		\$110,984,160	\$110,984,160	\$110,984,160	\$110,984,160	\$142,693,920	\$110,984,160	\$190,258,560	\$142,693,920	\$110,984,160	\$110,984,160	\$142,693,920	\$190,258,560
(-) Depreciación		-\$4,798,021	-\$4,798,021	-\$4,798,021	-\$4,798,021	-\$6,164,821	-\$4,798,021	-\$8,215,021	-\$6,164,821	-\$4,798,021	-\$4,798,021	-\$6,164,821	-\$8,215,021
(-) Gastos generales		\$119,786,352	\$119,786,352	\$119,786,352	\$119,786,352	\$154,011,024	\$119,786,352	\$205,348,032	\$154,011,024	\$119,786,352	\$119,786,352	\$154,011,024	\$205,348,032
		-\$3,587,850	-\$3,587,850	-\$3,587,850	-\$3,587,850	-\$4,612,950	-\$3,587,850	-\$6,150,600	-\$4,612,950	-\$3,587,850	-\$3,587,850	-\$4,612,950	-\$6,150,600
TOTAL EGRESOS	\$171,671	\$128,172,223	\$128,172,223	\$128,172,223	\$128,172,223	\$164,788,795	\$128,172,223	\$219,713,653	\$164,788,795	\$128,172,223	\$128,172,223	\$164,788,795	\$219,713,653
FC ECONÓMICO	\$171,671	\$33,617	\$33,617	\$33,617	\$33,617	\$47,285	\$33,617	\$67,787	\$47,285	\$33,617	\$33,617	\$47,285	\$67,787
FINANCIAMINETO NETO													
Préstamo	\$51,501												
(-) Amortización de capital		-\$1,684	-\$1,951	-\$2,260	-\$2,619	-\$3,034	-\$3,516	-\$4,073	-\$4,719	-\$5,468	-\$6,335	-\$7,339	-\$8,503
(-) Intereses y otros		-\$8,168	-\$7,901	-\$7,592	-\$7,233	-\$6,818	-\$6,337	-\$5,779	-\$5,133	-\$4,385	-\$3,517	-\$2,513	-\$1,349
FC FINANCIERO	\$120,170	\$23,765	\$23,765	\$23,765	\$23,765	\$37,433	\$23,765	\$57,935	\$37,433	\$23,765	\$23,765	\$37,433	\$57,935

Para el análisis de los indicadores de viabilidad económica, es necesario tener en consideración datos como:

Cálculo del VAN

El VAN (Valor Actual Neto) es una forma de ver si un proyecto o inversión vale la pena. Básicamente, suma el flujo de beneficio obtenido durante los periodos. Si el resultado es positivo, significa que el proyecto debería generar ganancias. Si es negativo, lo mejor sería no invertir porque podrías perder dinero. Es decir, un cálculo para saber si, en total, se va a ganar más de lo que se invierte.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+r)^t} - I_0$$

- VAN = Valor Actual Neto
- FC = Flujo de caja en el período t
- R = Tasa de descuento (por ejemplo, WACC)
- t = Período (de 0 a n)
- I₀ = Inversión inicial
- n = Número de períodos

Cálculo del TIR

La Tasa Interna de Retorno (TIR) representa el rendimiento esperado de una inversión. Es la tasa de interés que iguala el valor presente de todos los flujos de efectivo futuros con el costo inicial de la inversión. Comparar esta tasa con las tasas de rendimiento de otras opciones de inversión ayuda a determinar si la inversión es atractiva. Una TIR superior a la tasa de descuento indica que la inversión es rentable, mientras que una TIR inferior sugiere que no lo es.

$$VAN = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{FC}{(1+r)^t} - I_0$$

Tabla 15: *Datos a considerar para el cálculo de los indicadores*

Detalle	Valor
IR	30%
Endeudamiento (D)	30%
Fondos propios (K)	70%
Periodos	12.00
kd	15.86%

COK (Tasa de descuento flujo financiero)	15.20%
WACC (Tasa de descuento flujo económico)	14.31%

Para el cálculo del VAN y TIR económico se tiene en consideración el WACC (Costo ponderado de capital), ello debido a que refleja el costo total de capital y el riesgo operativo del negocio, mientras que los flujos financieros, que consideran la estructura de financiamiento y los costos de la deuda, requieren una tasa de descuento que refleje el costo de capital para los accionistas.

Tabla 16: *Flujo de caja económico*

Periodo	FC Económico
0	-\$171,671.20
1	\$33,616.65
2	\$33,616.65
3	\$33,616.65
4	\$33,616.65
5	\$47,284.65
6	\$33,616.65
7	\$67,786.65
8	\$47,284.65
9	\$33,616.65
10	\$33,616.65
11	\$47,284.65
12	\$67,786.65
VANE	\$51,185.81
TIRE	20%

Por otro lado, el COK es una buena opción para el análisis financiero porque mide el rendimiento mínimo anticipado por los accionistas, que corresponde a los flujos de efectivo disponibles para ellos.

Tabla 17: *Flujo de caja financiero*

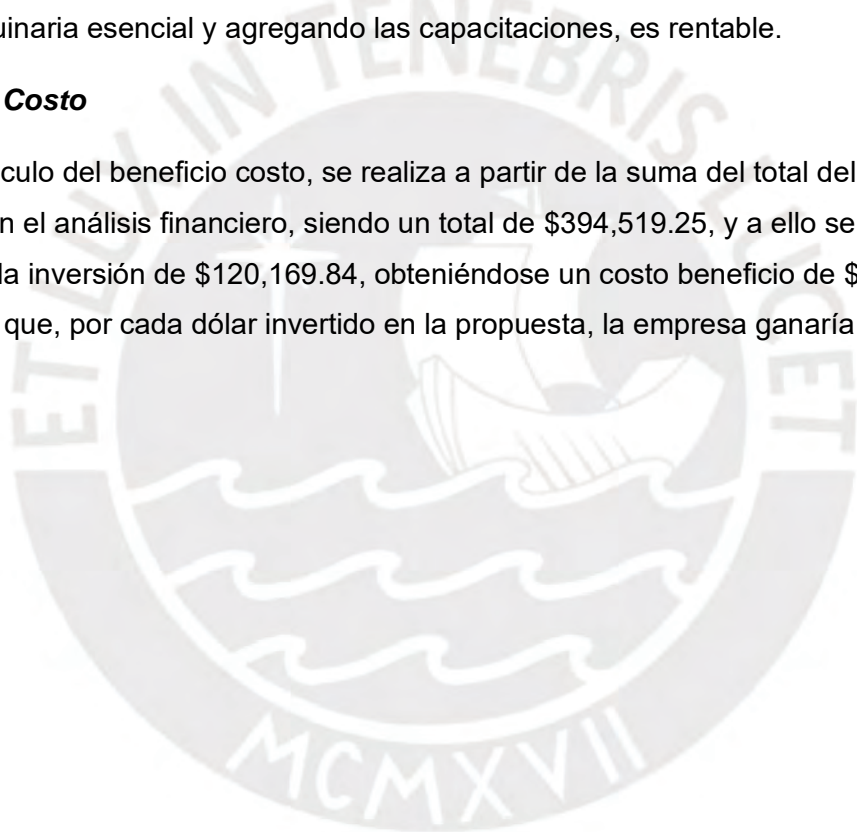
Periodo	FC Financiero
0	-\$120,169.84
1	\$23,764.60
2	\$23,764.60
3	\$23,764.60
4	\$23,764.60
5	\$37,432.60
6	\$23,764.60
7	\$57,934.60
8	\$37,432.60

9	\$23,764.60
10	\$23,764.60
11	\$37,432.60
12	\$57,934.60
<hr/>	
VANF	\$40,537.19
<hr/>	
TIRF	22%
<hr/>	

Se obtiene del análisis económico, que al culminó del año, la empresa obtendrá un beneficio neto de \$51,185.81, asimismo, el rendimiento de la inversión es del 20%. Para el análisis financiero, indica que luego de pagar el préstamo, la empresa tiene un beneficio neto de \$40,537.19, con un rendimiento de la inversión de 22%. Asimismo, la TIRE y TIRF, son mayores al COK y WACC, lo que significa que la propuesta de invertir en la maquinaria esencial y agregando las capacitaciones, es rentable.

Beneficio Costo

Para el cálculo del beneficio costo, se realiza a partir de la suma del total del beneficio obtenido en el análisis financiero, siendo un total de \$394,519.25, y a ello se le divide el total de la inversión de \$120,169.84, obteniéndose un costo beneficio de \$3.28, lo que indica que, por cada dólar invertido en la propuesta, la empresa ganaría \$2.28.



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

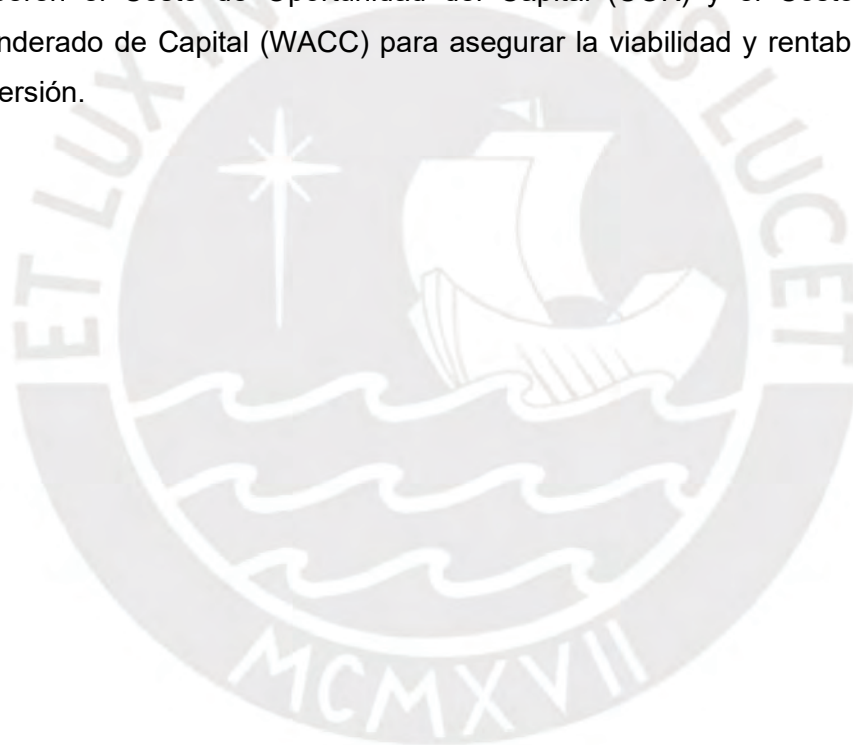
- La instalación de un sistema de filtración de aceite mejorará la eficiencia operativa y reducirá costos en las áreas de Inyección y Soplado. Al mantener el aceite limpio, se extenderá su vida útil, reducirá la frecuencia de reemplazos, minimizará el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento, y contribuirá a la sostenibilidad ambiental al reducir la eliminación de aceites contaminados.
- La implementación del segundo pilar, el mantenimiento independiente, capacitará a los operarios para llevar a cabo tareas básicas como cambios de aceite y la identificación de fallas comunes. Este enfoque no solo empodera a los trabajadores al aumentar su conocimiento y responsabilidad sobre la maquinaria, sino que también mejora la capacidad de respuesta ante problemas operativos. La capacitación exhaustiva proporcionará a los operarios las habilidades necesarias para mantener la calidad del aceite y el buen funcionamiento de la chancadora, lo que a su vez maximiza la disponibilidad y eficiencia de la maquinaria.
- En cuanto al análisis económico y financiero, se concluye que el proyecto demuestra su rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo. Al finalizar el primer año, la empresa obtendrá un beneficio neto de \$51,185.81 con un rendimiento de la inversión del 20%. Después de cubrir el préstamo, el beneficio neto se ajusta a \$40,537.19, con un rendimiento del 22%. Además, tanto la Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) como la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) superan el Costo de Oportunidad del Capital (COK) y el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC). Esto indica que la inversión en la maquinaria esencial y la capacitación del personal no solo es viable, sino también altamente rentable. La inversión inicial de \$171,671 se justifica por los beneficios económicos y operativos obtenidos, consolidando la propuesta como una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la empresa.

6.2. Recomendaciones

- Para implementar de manera efectiva el sistema de filtración de aceite, se sugiere comenzar con una instalación gradual en las áreas más críticas. Este enfoque permite monitorear y ajustar la efectividad del sistema antes de extenderlo a toda la planta. También es esencial proporcionar capacitación continua a los operarios y personal de mantenimiento sobre el uso y cuidado del sistema, asegurando así su funcionamiento óptimo y la rápida resolución de

problemas. Además, es importante realizar evaluaciones ambientales periódicas para cumplir con las normativas y maximizar los beneficios, como la reducción de la disposición de aceites contaminados.

- Es fundamental implementar un programa integral de capacitación que cubra tanto el mantenimiento básico como avanzado, y proporcionar manuales detallados y accesibles para los operarios. Un sistema de retroalimentación permitirá a los operarios reportar problemas y sugerir mejoras, lo que mejorará los procedimientos de mantenimiento.
- El análisis económico del proyecto muestra rentabilidad a largo plazo. Se recomienda una gestión financiera rigurosa para maximizar beneficios, monitoreando flujos de caja y eficiencia operativa. Es crucial que la Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE) y la Tasa Interna de Retorno Financiera (TIRF) superen el Costo de Oportunidad del Capital (COK) y el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC) para asegurar la viabilidad y rentabilidad de la inversión.



Referencias bibliográficas

- Adetunla, A., Afolalu, S., Jen, T.-C., & Ogundana, A. (2023). The Development of Tribology in Lubrication Systems of Industrial Applications: Now and future impact. *E3S Web of Conferences*, 391, 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101013>
- Adigamov, A., Zotov, V., Kovalev, R., & Kopylov, A. (2021). Calculation of transportation of the stowing composite based on the waste of water-soluble ores. *Transportation Research Procedia*, 57, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.020>
- Al-refaie, A., & Lepkova, N. (2022). *The Relationships between the Pillars of TPM and TQM and Manufacturing Performance Using Structural Equation Modeling*. 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14031497>
- Arya, M., Dirksen, J., Peterson, C., Schoof, B., & Thayer, J. (2021). *MRacing Variable Valve Timing*.
- Au-Yong, C. P., Azmi, N. F., & Myeda, N. E. (2022). Promoting employee participation in operation and maintenance of green office building by adopting the total productive maintenance (TPM) concept. *Journal of Cleaner Production*, 352(March), 131608. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131608>
- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>
- Chin, H. H., Varbanov, P. S., Klemeš, J. J., Benjamin, M. F. D., & Tan, R. R. (2020). Asset maintenance optimisation approaches in the chemical and process industries – A review. *Chemical Engineering Research and Design*, 164, 162–194. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.09.034>
- Guedes, M., Figueiredo, P. S., Pereira-Guizzo, C. S., & Loiola, E. (2021). The role of motivation in the results of total productive maintenance. *Production*, 31(2006), 1–14. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20200057>
- Guerroum, M., Zegrari, M., Masmoudi, M., Berquedich, M., & Elmahjoub, A. A. (2022). Machine Learning Technics for Remaining useful Life Prediction using Diagnosis Data: a Case Study of a Jaw Crusher. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 12(10), 122–135.

https://doi.org/10.46338/ijetae1022_14

- Gupta, A., & Yan, D. (2019). Introduction to Mineral Processing and Operation. *Introduction to Mineral Processing*, 1–704.
- Gupta, M. K., Khan, A. M., Song, Q., Liu, Z., Khalid, Q. S., Jamil, M., Kuntoğlu, M., Usca, Ü. A., Sarıkaya, M., & Pimenov, D. Y. (2021). A review on conventional and advanced minimum quantity lubrication approaches on performance measures of grinding process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117(3–4), 729–750. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07785-x>
- Javaheri, M., Jafari, A., Baradaran, G. H., & Saidi, A. (2022). Effects of Rollers Speed Regime on the Roller Screen Efficiency. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 43(5), 648–655. <https://doi.org/10.1080/08827508.2021.1916926>
- Kirchner, E., Bartz, M., & Becker-Dombrowsky, F. (2024). Behavior of Lubricated Bearings in Electric Circuits. *Lubricants*, 12(3), 89. <https://doi.org/10.3390/lubricants12030089>
- Liu, G., Xu, Q., Zhao, J., Nie, W., Guo, Q., & Ma, G. (2021). Research Status of Pathogenesis of Pneumoconiosis and Dust Control Technology in Mine—A Review. *Applied Sciences*, 11(21), 10313. <https://doi.org/10.3390/app112110313>
- Mena y Buitrón. (2024). *Planteamiento de mejora de productividad utilizando la metodología Lean Manufacturing en el proceso de producción de cerveza artesanal en la empresa “Quiteña” de la ciudad de Quito*. Escuela politecnica nacional.
- Messina, D., Barros, A. C., Soares, A. L., & Matopoulos, A. (2020). An information management approach for supply chain disruption recovery. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 489–519. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2018-0294>
- Moirano, R., Sánchez, M. A., & Štěpánek, L. (2020). Creative interdisciplinary collaboration: A systematic literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 35(August 2019), 100626. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2019.100626>
- Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M., & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)), 41–49.

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>

- Ngoy, K. R., & Israel, K. (2021). The Strategy of Successful Total Productive Maintenance (TPM): Implementation and Benefits of TPM (Literature Review). *Ijirmps*, 9(6), 43–52.
- Pinto, G., Silva, F. J. G., Baptista, A., Fernandes, N. O., Casais, R., & Carvalho, C. (2020). TPM implementation and maintenance strategic plan – a case study. *Procedia Manufacturing*, 51(2020), 1423–1430.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.198>
- Rizkya, I., Sari, R. M., Syahputri, K., & Tarigan, U. (2021). Evaluation of total productive maintenance implementation in manufacture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 012059.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012059>
- Rudnick. (2020). *Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology* (CRC Press (ed.); 3rd ed.).
- Samsudin, N. S., Mohammad, M. Z., Khalil, N., Nadzri, N. D., & Izam Che Ibrahim, C. K. (2022). A thematic review on Prevention through design (PtD) concept application in the construction industry of developing countries. *Safety Science*, 148(November 2021), 105640. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105640>
- Shannon, N., Trubetskaya, A., Iqbal, J., & McDermott, O. (2023). A total productive maintenance & reliability framework for an active pharmaceutical ingredient plant utilising design for Lean Six Sigma. *Heliyon*, 9(10), e20516.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20516>
- Silva, R. F. da, & Souza, G. F. M. de. (2020). Asset management system (ISO 55001) and Total Productive Maintenance (TPM): a discussion of interfaces for maintenance management. *Revista Gestão Da Produção Operações e Sistemas*, 15(2), 288. <https://doi.org/10.15675/gepros.v15i2.2528>
- Simon y Challoner. (2022). *1001 Inventions That Changed the World* (Jack Challoner (ed.); 3rd ed.).
- Singh, R., Dureja, J. S., Dogra, M., Gupta, M. K., Mia, M., & Song, Q. (2020). Wear behavior of textured tools under graphene-assisted minimum quantity lubrication system in machining Ti-6Al-4V alloy. *Tribology International*, 145(September 2019), 106183. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106183>
- Taylor, R. I. (2021). Fuel-Lubricant Interactions: Critical Review of Recent Work.

Lubricants, 9(9), 92. <https://doi.org/10.3390/lubricants9090092>

- Thakur, R., & Panghal, D. (2021). Total productive maintenance. In *Lean Tools in Apparel Manufacturing* (pp. 355–379). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819426-3.00005-9>
- Tian Xiang, Z., & Jeng Feng, C. (2021). Implementing total productive maintenance in a manufacturing small or medium-sized enterprise. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 152. <https://doi.org/10.3926/jiem.3286>
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Cauchick-Miguel, P. A., Kurnia, S., & Jurburg, D. (2021). Integration of Industry 4.0 technologies into Total Productive Maintenance practices. *International Journal of Production Economics*, 240(June), 108224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>
- Usman, M., Hayat, N., & Bhutta, M. M. A. (2021). SI Engine Fueled with Gasoline, CNG and CNG-HHO Blend: Comparative Evaluation of Performance, Emission and Lubrication Oil Deterioration. *Journal of Thermal Science*, 30(4), 1199–1211. <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1268-4>
- Vecchiato, L., Negri, M., Picci, G., Viale, L., Zaltron, G., Giacometti, S., & Meneghetti, G. (2024). Design and Development of a Brake Test Bench for Formula SAE Race Cars. *Machines*, 12(2), 135. <https://doi.org/10.3390/machines12020135>
- Vincoli. (2024). *Basic Guide to System Safety* (John Wiley & Sons (ed.); 4th ed.).
- Xu, G., Liu, X., Shao, K., Yu, X., Hu, X., Zhao, X., & Gong, Z. (2022). Universal platform for accurately damage-free mapping of sEVs cargo information. *Analytica Chimica Acta*, 1232(September), 340432. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2022.340432>