



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Aplicación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para
mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad
minera -2021**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR:

Pariapaza Justo, Eder Henry Nadinho (ORCID: 0000-0002-4105-4772)

ASESOR:

Dr. Espejo Peña, Dennis Alberto (ORCID: 0000-0002-0545-5018)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión Empresarial y Productiva

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi familia, padres y hermanos a quienes quiero mucho y de esta manera demostrar que todo se puede lograr con esfuerzo.

A mi esposa por su sacrificio ayudándome a superarme y por creer en mi capacidad.

A mis hijos por ser mi fuente de inspiración y motivación para nunca rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para ellos.

AGRADECIMIENTO

Quiero Agradecer a Dios por cada día que me bendice, a mis padres quienes me forjaron como la persona que soy siempre confiaron en mi capacidad y lo demuestro con mis logros.

Este camino no fue sencillo muchas veces quise abandonar, pero el apoyo los ánimos que me brindaron sirvieron de mucho, gracias a mi asesor Dennis Espejo.

A la universidad Cesar Vallejo que me dio la oportunidad de culminar mi carrera con satisfacción.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación	13
3.2. Variables y operacionalización	14
3.3. Población, muestra y muestreo	16
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
3.5. Procedimientos	18
3.6. Método de análisis de datos.....	19
3.7. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
4.1 Diagnóstico actual de la empresa	20
4.2 Implementación de la mejora	29
4.3 Análisis descriptivos.....	47
4.4 Análisis Inferenciales	50
V. DISCUSIÓN	57
VI. CONCLUSIONES.....	59
VII. RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS	61
ANEXOS.....	64
Anexo 1: Matriz de consistencia	65
Anexo 2: Matriz de operacionalización.....	66
Anexo 3: Diagrama de Ishikawa.....	68
Anexo 4: Instrumento de recolección de datos.....	69
Anexo 5: Validación de expertos.....	70
Anexo 6: Reportes del área de mantenimiento antes de la mejora	72
Anexo 8: Procedimiento escrito de trabajo seguro	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterio de semaforización para el valor de NPR.....	9
Tabla 2. Criterios de evaluación de los parámetros del NRP.....	9
Tabla 3. Especificaciones de celdas en Flotación de Limpieza.....	27
Tabla 4. <i>Indicadores productividad antes de la implementación</i>	28
Tabla 5. <i>Cronograma de implementación</i>	30
Tabla 6. <i>Cronograma de capacitaciones</i>	31
Tabla 7. <i>Cuestionario validador</i>	32
Tabla 8. <i>Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-ML-001</i>	35
Tabla 9. <i>Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-ML-002</i>	36
Tabla 10. <i>Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-PP-001</i>	37
Tabla 11. <i>Resumen del análisis de criticidad</i>	38
Tabla 12. <i>Indicadores de mantenimiento después de la implementación</i>	45
Tabla 13. <i>Indicadores productividad después de la implementación</i>	46
Tabla 14. Resumen del procesamiento de datos de la Productividad.....	47
Tabla 15. Resumen del procesamiento de datos de la Eficiencia.....	48
Tabla 16. Resumen del procesamiento de datos de la Eficacia.....	49
Tabla 17. Prueba de normalidad de la Productividad.....	50
Tabla 18. Comparación de medias de la Productividad.....	51
Tabla 19. Estadístico de prueba T-Student para la Productividad.....	52
Tabla 20. <i>Prueba de normalidad de la dimensión eficiencia</i>	53
Tabla 21. <i>Comparación de medias de la dimensión eficiencia</i>	53
Tabla 22. Estadístico de prueba T-Student para la Eficiencia.....	54
Tabla 23. Prueba de normalidad de la dimensión eficacia.....	55
Tabla 24. Comparación de medias de la Eficacia.....	56
Tabla 25. Estadístico de prueba T-Student para la Eficacia.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera.....	21
Figura 2. Sección Chancado de la Concentradora.....	23
Figura 3. Sección Molienda y Flotación Primaria de la Concentradora Toquepala	24
Figura 4. Flotación colectiva.....	25
Figura 5. Sistema de flotación - Planta de Cobre, Concentradora Toquepala.	26
Figura 6. Productividad antes de la mejora	28
Figura 7. Reunión con gerencia.....	29
Figura 8. Reunión del equipo de mejora.....	30
Figura 9. Capacitaciones al equipo de mejora	31
Figura 10. Molino de bolas.....	34
Figura 11. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-ML-001.....	35
Figura 12. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-ML-002.....	36
Figura 13. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-PP-001	37
Figura 14. Molino de bolas 3200-ML-001	39
Figura 15. Procedimientos de trabajo seguro	45
Figura 16. Histograma del antes y después de Productividad.....	47
Figura 17. Histograma del antes y después de Eficiencia	48
Figura 18. Histograma del antes y después de Eficacia	49

RESUMEN

La presente investigación titulada “Aplicación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera, 2021” toma relevancia debido al gran número de paradas de máquinas que originan la disminución en la productividad de la unidad, a pesar de los esfuerzos realizados por el área de mantenimiento, es por ello que determinar la medida en qué la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera se convirtió en el objetivo principal de la investigación.

La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, nivel explicativo y de diseño cuasi experimental con pre y post prueba de corte longitudinal, considerando como muestra los reportes del área de mantenimiento durante, seis meses antes y seis meses después, para lo cual se crearon instrumentos de recolección de datos tanto para ambas variables.

En la unidad minera se realizó el análisis de criticidad de los molinos de bolas, así como el análisis de modo de efectos y fallas, para finalmente programar las actividades de mantenimiento, con lo cual se mejoró la eficiencia del área de 94% a 98%, así como la eficacia incrementando de 95% a 97%, lo que se ve reflejado en una mejora de la productividad de 89% a 95% con lo cual se demostró que la aplicación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera, 2021.

Palabra Claves: Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Productividad, Unidad minera

ABSTRACT

The present research entitled "Application of a Maintenance Plan Focused on Reliability to improve productivity in the area of maintenance a mining unit, 2021" becomes relevant due to the large number of machine stops that cause the decrease in the productivity of the unit, despite the efforts made by the maintenance area, that is why determining the extent to which the application of a reliability-focused maintenance plan improves productivity in the maintenance area of a mining unit became the main objective of the research.

The research was of an applied type, with a quantitative approach, explanatory level and quasi-experimental design with pre and post longitudinal cut test, considering as a sample the reports of the maintenance area during, six months before and six months after, for which created data collection instruments for both variables.

the mining unit, the criticality analysis of the ball mills was carried out, as well as the analysis of the mode of effects and failures, to finally schedule the maintenance activities, which improved the efficiency of the area from 94% to 98%, as well as the efficiency increasing from 95% to 97%, which is reflected in an improvement in productivity from 89% to 95% with which it was shown that the application of a Reliability-Focused Maintenance plan to improve productivity in the maintenance area of a mining unit,

Keywords: Maintenance focused on reliability, Productivity, Mining unit

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industria minera mundial ha aumentado de manera vertiginosa, las cantidades de productos primarios minerales y metales preciosos extraídos se han multiplicado de manera exponencial, siendo los países del continente asiático como Corea, India, China, Japón, Turquía, Rusia, Indonesia; del continente americano como Chile, Bolivia, Brasil, Perú, México, Estados Unidos, Canadá; del continente Oceanía como Australia quienes cubren más del 70% de la producción mundial (Minería global contemporánea o financiarizada, 2017). Sin embargo, en el panorama actual, la pandemia de COVID-19 está provocando importantes trastornos a la industria minera a nivel mundial, ocasionando que los países dedicados a la minería pierdan ingresos fiscales esenciales, por lo cual se ven forzados a redoblar sus esfuerzos al reanudar su actividad económica, a fin de mitigar cualquier impacto negativo (Banco Mundial, 2020).

En tanto América Latina y el Caribe cuenta con una extensa variedad de depósitos minerales que poseen una significativa cantidad de reservas, lo cual da lugar a una importante explotación minera que genera inversión extranjera, regalías, impuestos y empleo, lo cual ha incidido económicamente en los países de la región, teniendo una contribución considerable en el Producto Interno Bruto (PIB) de los mismos (Minería en América Latina y el Caribe, un enfoque socioambiental, 2018). Actualmente, ya pesar de la propensión de disminución de cálculo anticipado de inversión, América Latina recibe el 25% de las inversiones, ubicando a México, Chile, Perú y Brasil dentro de los diez principales países de inversión minera a nivel mundial, concentrando entre ellos un poco más del 80% de la inversión de América Latina (CooperAction, 2016).

Debido a la abundancia de recursos, el Perú es uno de los principales productores de metales como el oro, la plata, el cobre, el zinc, el plomo, el telurio, molibdeno, hierro, estaño, entre otros, además se ubica como el segundo productor mundial de plata, cobre y zinc, y el primero en oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina. Los principales proyectos mineros se encuentran ubicados en Cusco, Lima, Huancavelica, Cajamarca, Ica, Junín, Lambayeque, Moquegua, Ancash, Arequipa, Tacna, Piura. (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2021).

En cuanto al departamento de Tacna, situada en la costa sur del Perú, esta destaca por contar con importantes unidades mineras como Pucamarca (Minsur) y Toquepala. Esta última se encuentra ubicada a 30 km de Cuajone y 870 km de Lima, y utiliza un método convencional de minería a cielo abierto, en el cual se recupera mineral de cobre en primer lugar para luego procesarlo. La concentradora cuenta con una capacidad de trituración de 60,000 Tn diariamente y de filtración de 56,000 Tn anual .

A pesar de ello, en los últimos años la empresa minera ha venido presentando problemas de coordinación en el área de mantenimiento, dado que no cuenta con un sistema eficiente de mantenimiento planificado lo que resulta en una baja confiabilidad de los equipos, atribuido a la falta de gestión por parte de la jefatura, la poca comunicación entre los mecánicos y supervisores y la inexistencia de reportes y ordenes de trabajo, ocasionando un descontrol en los tiempos de mantenimiento programado, llegando a efectuarse reparaciones sin que la maquina haya cumplido su ciclo de desgaste, esta intervención provoca mayores daños en la maquinaria, teniendo, en algunos casos, que proceder a un mantenimiento correctivo en lugar de uno preventivo, lo que genera mayores gastos a la empresa.

Siendo que, en la industria minera, una parada imprevista de una planta significa perdidas monetarias importantes, ya sea por el tiempo de producción no aprovechado aunado a la necesidad de realizar operaciones correctivas que involucran en muchos casos el uso de componentes de repuesto, la gestión de mantenimiento es vital para garantizar el rendimiento a largo plazo del programa de producción mediante el control de garantía de calidad y el mantenimiento de los activos en un orden de funcionamiento óptimo. En otras palabras, a través del mantenimiento preventivo es posible garantizar y en ciertos casos prolongar la vida útil de los equipos, evitando, de esta manera, inversiones de capital de manera anticipada, cuando realmente no corresponden, reduciendo las paradas de planta no programadas, aumentando de este modo la productividad, maximizando las ganancias y reduciendo los costos de operacion (La importancia del mantenimiento preventivo al seleccionar equipos para un centro de datos minero, 2016).

Es por ello, que esta investigación busca la aplicación de un modelo de mantenimiento que se enfoque en la confiabilidad de los equipos del área de

molienda para mejorar la productividad del área de mantenimiento en la empresa minera Toquepala, Tacna. Por lo cual se planteó el siguiente **problema general**: ¿Hasta qué punto la aplicación de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad mejorará la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera? De donde surgen los siguientes problemas específicos, el primero ¿Hasta qué medida la adopción de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejorará el rendimiento en el campo de mantenimiento en una unidad minera? y el segundo ¿Hasta qué medida la adopción de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejorará el rendimiento en el campo de mantenimiento en una unidad minera?

De esta manera, el presente estudio tiene un fundamento práctico ya que, se busca abordar los problemas de las paradas no programadas en la unidad minera a través de la adopción de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad en el sector de molienda de una unidad minera, para lo cual se va a determinar la frecuencia con la que se deben efectuar las tareas de mantenimiento, permitiendo disminuir los tiempos inoperante y minimizando los costos generados a la empresa a causa de mantenimientos correctivos.

De igual manera, la investigación adquiere Justificación teórica debido a que aportará una fuente de información a futuras investigaciones en las cuales se busque aplicar un plan de mantenimiento orientado en la confiabilidad, con el fin de replicar y difundir los resultados obtenidos en otras empresas que posean problemáticas similares, beneficiando, de esta manera, la productividad de dichas empresas.

Por esta razón, el presente estudio intentó dar respuesta a la pregunta planteada proponiendo objetivo principal: Determinar en qué medida la adopción de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejorará la eficiencia en el área de mantenimiento en una unidad minera, de donde surgen los siguientes problemas específicos, el primero determinar hasta qué medida la adopción de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejorará la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera y el segundo determinar hasta qué medida la adopción de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera.

Con lo anteriormente expuesto se plantean las hipótesis de la investigación, teniendo como hipótesis general: la aplicación de un plan de mantenimiento orientado en la en confiabilidad mejorará la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera, así como dos específicas, siendo la primera la adopción de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad mejorará la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera y la segunda la adopción de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento una unidad minera.

II. MARCO TEÓRICO

Para desarrollar las estrategias de mantenimiento para acrecentar la eficacia del sector de molienda en Minera Toquepala, se consultaron diversos trabajos de investigación, los cuales fueron usados como referencia para desarrollar este trabajo. En este sentido a continuación presentamos los antecedentes nacionales e internacionales:

En el ámbito nacional, Otero (2019) desarrolló un trabajo de investigación con el título de “Aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Mejorar la Productividad en el Área de Mantenimiento de la Empresa Maquiperu S.A., San Luis 2019”, con el fin principal de determinar en qué medida la adopción del mantenimiento orientado a la confiabilidad acrecenta la eficiencia en el sector de mantenimiento de la compañía estudiada. La investigación fue aplicada, de diseño cuasi experimental de tipo explicativo. Se desarrolló mediante la técnica de observación y hojas de registro entre ellas herramientas de recopilación de datos aplicando el estudio e impacto de fallas AMEF y el estudio de criticidad a los equipos, determinándose 20 montacargas a los cuales se aplicaron las estrategias de mantenimiento. El estudio concluyó con una mejora de la eficacia en el campo de mantenimiento del 29.71% pasando de 41.13% a 70.84%; la eficiencia mejoró en un 15.48% y la eficacia en un 23.42%. En cuanto a los indicadores de mantenimiento, la disponibilidad se acrecentó en un 14.66%, pasando de 81.65% a 96.31% y finalmente, hubo un ahorro en los costos de mantenimiento de US \$13,440.80 dolares americanos, sin presentarse penalidades por incumplimiento.

Blanco y Leyva (2019) elaboraron un proyecto llamado “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Máquinas Botoneras Robóticas para incrementar la Productividad en una empresa de confección textil. Ate, 2019” con el objetivo general de establecer de que manera el mantenimiento orientado a la confiabilidad (RCM) aumenta la producción de las maquinas botoneras en una compañía de confecciones. Es un estudio aplicada dentro la producción de 180 días de las maquinas botoneras roboticas, por otra parte, la muestra fue determinada a conveniencia del investigador, y se conformó por la producción de 35 días de dichas maquinas. En el avance del estudio se usó el software estadístico SPSS V22, el comportamiento de las variables fue determinado a través de Kolmogorov-

Smirov. Como conclusión se obtuvo que el mantenimiento orientado a la confiabilidad produce un incremento en la productividad desde 62.806% hasta un 74.186%, lo que indica que el incremento logrado fue de 11.38%.

Marchena (2018) desarrolló una tesis cuyo título fue “Implementación Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM) Para Aumentar La Productividad Del Área De Producción De Tableros De La Empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018”, que su fin fue poner en marcha el mantenimiento orientado a la confiabilidad para aumentar la eficiencia en la producción de tableros de una empresa. La investigación tuvo un diseño cuasi experimental aplicado, en la cual se utilizó una técnica de observación, recolectando la información a través de instrumentos de medición. Para el logro de los fines planteados realizamos un estudio inferencial, por medio de un análisis estadístico en el que se evalúan los registros de la eficiencia, pronto y luego de poner en marcha el mantenimiento orientado a la confiabilidad, a través de la muestra de normalidad y el estadígrafo de Wilcoxon. Como conclusión se obtuvo que con la puesta en marcha del mantenimiento orientado a la confiabilidad (RCM) ahorramos S/ 12,300.00 y una mejora en la eficiencia de un 20.75% como media para un tiempo de 12 semanas.

En el contexto internacional, Fuentes et al. (2021) realizaron la investigación “Fuzzy Reliability Centered Maintenance Considering Personnel Experience and Only Censored Data”, la cual fue descriptiva no experimental, en la cual aplicaron el proceso del mantenimiento orientado a la confiabilidad (RCM) en un caso de estudio de una máquina moldeadora por inyección, donde a falta de registros de mantenimiento en la empresa, se valieron únicamente del testimonio del personal, y se pudieron obtener datos aproximados sobre la frecuencia, los tipos de falla y las soluciones a ellas. A través de la medición de los indicadores de la metodología RCM y un estudio e impacto de falla, propusieron una rutina de mantenimiento preventivo a fin de extender los tiempos probables entre fallas, lo cual produjo una mejora del 40% de la eficiencia de la máquina. De tal manera, se evidencia la relación entre la medición de los indicadores tiempo entre fallas y la productividad de la producción, así como la escogencia del mantenimiento preventivo como desencadenador de tales beneficios.

Haris et al. (2021) publicaron el estudio “Machine Maintenance Planning in Manufacturing Company using RCM II Methods” cuyo objetivo se centró en aumentar el índice de productividad en una empresa de manufactura, para lo cual aplicaron la metodología RCM apoyada con la matriz de AMEF y un estudio de criticidad de fallas. Considerada como una investigación descriptiva, ilustra el proceso de puesta en marcha del proceso de mantenimiento orientado a la confiabilidad, en la cual el estudio e impacto de falla junto con la criticidad de cada una de las fallas detectadas a la maquinaria estudiada brindó el enfoque a donde dirigir las tareas de mantenimiento preventivo que lograron aumentar la productividad al reducir las fallas repentinas y las paradas de producción. En tal sentido, se logró la mejora de la eficiencia de la máquina de bordado al aumentar la disponibilidad de tres de sus componentes más críticos, en el orden de 25%, 35% y 53%, que se tradujo en un aumento de la productividad en un 37%.

McDonnell et al. (2018) publicaron el artículo “Predicting the unpredictable: Consideration of human and organisational factors in maintenance prognostics”, basado en una investigación descriptiva, cuyo objetivo fue incorporar a las métricas centradas en mantenimiento y confiabilidad, el efecto del error humano en las prácticas de reparaciones y sustitución de componentes, dado que las metodologías clásicas no contemplan indicadores para este factor, y con ello propusieron la teoría de que al incorporar este factor se puede lograr obtener una predicción más certera de la probabilidad de la ocurrencia de fallas, lo cual se relaciona directamente con el índice de confiabilidad. Como tal, el caso estudiado se fundó en los procesos productivos de una industria de productos bio farmacéuticos, cuya maquinaria gozaba de una frecuencia alta de rutinas de mantenimiento. El enfoque dado en la investigación permitió ajustar los indicadores de confiabilidad en función de la experiencia y grado de formación del personal de mantenimiento, cuya incorporación en la metodología logro una predicción más realista de los tiempos entre fallas ocurridas. Así, los resultados hallados son significativos para el estudio realizado por cuanto el factor humano coincide con el análisis de la problemática aquí estudiada, donde el personal de mantenimiento presenta deficiencias en su capacitación de trabajo.

Desde una perspectiva teórica, **la gestión del mantenimiento** es una serie de operaciones que realizamos para asegurar la continuidad de las operaciones con el fin de reducir las demoras en los procesos debido a fallas de maquinaria y equipos. En este sentido, el alcance de la gestión del mantenimiento radica en la capacidad de reducir costes optimizando el consumo de material y la utilización de personal especializado. Para ello es necesario realizar una investigación para determinar qué modelo se adapta mejor a las características de cada empresa, es importante analizar el impacto que cada equipo tiene en los resultados de la empresa, para que la mayor cantidad de recursos se empleen en aquellos equipos cuyo dominio es mayor; Asimismo, es necesario examinar el consumo y stock de materiales utilizados en el proceso de mantenimiento, todo ello con el fin de incrementar la excedencia de equipos para que su ausencia no contradiga el plan de producción (Levitt, 2009).

En este sentido, **el Mantenimiento Basado en Confiabilidad (MBC)** es una técnica comúnmente utilizada no solo para definir labores de mantenimiento, sino también referencia para estudiar los riesgos de los equipos, clasificar los componentes críticos del mantenimiento por importancia o identificar mejoras. Oportunidades en el mantenimiento de equipos complejos. Esta tecnología consiste en la gestión de eventos y la gestión del mantenimiento para desarrollar programas estructurados basados en la confiabilidad del equipo para brindar un programa de mantenimiento efectivo dirigido a mantener la confiabilidad original del equipo. (Reliability-centered maintenance methodology and application: a case study, 2010).

El análisis de impacto y modo de falla (FMEA, por sus siglas en inglés) es una técnica que se utiliza para prevenir fallas y analizar el riesgo del proceso determinando la causa y el efecto con el fin de determinar las acciones que se utilizarán para prevenir fallas. Este método se debe a que el proceso puede funcionar de manera eficiente y consta de tres componentes: efecto, causa y detección. El FMEA tiene como objetivo identificar, identificar y describir las no conformidades derivadas del proceso, sus consecuencias y causas, mediante acciones preventivas para reducirlas o eliminarlas (Shebl, et al., 2009). Para llevar a cabo este método, se hace necesario aplicar un análisis de criticidad, cuyo

propósito es proveer una muestra rápida de la impresión de la falla definido en el RCM; lo cual se puede lograr al incorporar dentro de este esquema, la clasificación del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) respectivo, siendo un criterio basado en la valoración cualitativa de 3 puntos: severidad (S), detectabilidad (D) y ocurrencia (O) (Campos et al., 2018). Por cuanto queda definido según la siguiente expresión:

$$NPR = S \times D \times O$$

Siendo el NPR valorizado según el criterio de semaforización tal como:

Tabla 1. Criterio de semaforización para el valor de NPR

Semaforización	Valor NPR
Rojo (crítico)	$NPR > 36$
Amarillo (con riesgo)	$7 < NPR < 36$
Verde (aceptable)	$NPR \leq 7$

Fuente: adaptado de Campos et al. (2018)

En tanto que los parámetros S, D y O, se establecen según los parámetros de la tabla 2:

Tabla 2. Parámetros de evaluación del NRP

	D	S	O
	No hay probabilidad de detectar causas de fallas potenciales a tiempo, se puede alcanzar falla funcional.	Efecto crítico en la seguridad o medio ambiente: lesiones, muertes efectos irreversibles en el medio ambiente	Pueden ocurrir varias fallas al año (Tasa de fallas ≥ 1 fallas/año)
	Baja probabilidad de detectar causas de fallas potenciales y corregirlas a tiempo	Efectos importantes en la capacidad productiva: pérdidas económicas significativas por tiempo de paro y/o reparación	$0.3 < \text{Tasa de fallas} < 1$ (fallas/año)
	Mediana probabilidad de detectar causas de fallas potenciales y corregirlas a tiempo	Efecto leve en la capacidad productiva: pérdidas económicas leves por tiempo de paro o reparación	$0.1 < \text{Tasa de fallas} \leq 0.3$ (fallas/año)
	Causa de falla potencial fácilmente detectable y corregida durante la operación	No hay efectos operativos ni pérdidas importantes	Tasa de fallas ≤ 0.1 (fallas/año)

Fuente: Adaptado de Campos et al. (2018).

La disponibilidad de un sistema se refiere a la probabilidad de que éste se encuentre en funcionamiento y listo para usarse. En otras palabras, se puede describir como el periodo de tiempo en que el activo debe estar en funcionamiento. En una situación ideal, la disponibilidad de los activos debería ser del 99.999%, sin embargo, en el mundo real se debe intentar lograr una disponibilidad mayor al 90%. Es así, que la disponibilidad se puede calcular a través de la ecuación 1 (Choudhary, et al., 2019).

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

Dónde:

MTBF: Tiempo promedio entre fallas

MTTR: Tiempo promedio de reparación

Por otro lado, la **confiabilidad** es la posibilidad de que un procedimiento produzca los resultados esperados. El mejoramiento de la confiabilidad depende directamente de evitar averías y de detectar cualquier anomalía, para lo cual se requieren dos cosas: la recopilación de datos y el conocimiento profundo de los modos de fallo. Para el cálculo de la confiabilidad se toma el MTBF como un buen indicador de la confiabilidad de un activo durante su ciclo de vida, quedando como se muestra en la ecuación 2 (Choudhary, et al., 2019).

$$\text{Confiabilidad} = e^{-t/MTBF}$$

En este orden de ideas, se define la **mantenibilidad** como la facilidad con la que se puede reparar un activo. Es decir, una mantenibilidad alta se debe a un bajo tiempo medio de reparación, o lo que es lo mismo, un corto periodo de tiempo hasta que se reanuda el funcionamiento normal después de una avería (Choudhary, et al., 2019).

Por su parte, la **productividad** es la interrelación que tiene un bien y un servicio que se han producido o fabricado y los insumos necesarios para producir dicho bien o servicio. Es así que, la expresión para hallar la productividad es el cociente entre la producción obtenida y los recursos utilizados, como se muestra en la ecuación 4 (Fried et al., 2008).

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción lograda}}{\text{Cantidad de recurso utilizado}}$$

El fin de la productividad es calcular **la eficiencia** de producción por cada medio utilizado, considerando que la eficiencia se define como la obtención del mayor beneficio a un mínimo de recursos. Es decir, a medida que disminuya la cantidad de recursos utilizados para producir una misma cantidad, se logra un aumento de la productividad y en consecuencia, un aumento de la eficiencia (Fried et al., 2008). La eficacia en el sector de mantenimiento, se mide mediante el índice de trabajos de mantenimiento según la ecuación 5, como sigue:

$$ITM = \frac{\textit{Tiempo previsto para mantenimiento}}{\textit{Tiempo total de mantenimiento}} \times 100\%$$

Por otra parte, es habitual que el concepto de **eficiencia** sea relacionado con el de **eficacia**, siendo este último, considerado como la capacidad que posee una organización para cumplir los objetivos que han sido definidos en unas condiciones ya establecidas. Es decir, la **eficacia** es el grado de acatamiento de los fines económicos puestos por una organización (Sundqvist et al., 2014). La eficacia en el sector de mantenimiento, se mide mediante el índice de trabajos de mantenimiento, para lo cual se plantea uno por cada tipo de mantenimiento, según se representa en las siguientes ecuaciones:

$$IMP = \frac{\textit{Tiempo mantenimiento preventivo}}{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}$$

$$IMC = \frac{\textit{Tiempo mantenimiento correctivo}}{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}$$

$$IME = \frac{\textit{Tiempo OT prioridad máxima}}{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}$$

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Es aplicada ya que exploró los problemas de la empresa con el objetivo de solucionarlos a través la aplicación de un plan de mantenimientos orientados a la confiabilidad, y coincide con Concytec (2021), que confirma que “La investigación aplicada se centra en los conocimientos probados por la ciencia, que puedan satisfacer una necesidad específica y reconocida. (p. 5).

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se recolectan datos para contestar interrogantes de investigación, y el análisis de estadística confirma la veracidad de la conjetura de investigación para fijar el proceder y comprobar suposiciones (Hernández et al., 2014, p.4).

En cuanto a su alcance o nivel, es explicativa, en el que se examinar las razones y consecuencias de la interrelación de variables. (Bernal, 2010, p.115). Puesto que explica el impacto de implementar un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad en la eficiencia de un sitio de mantenimiento de mina.

El diseño del estudio es cuasi-experimental y se caracteriza por poco o ningún control sobre las variables exógenas durante el experimento.

$$G: O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Dónde

G : Es la población o muestra

O_1 : La observación inicial

X : Tratamiento de la variable independiente o implementación

O_2 : Observación final

3.2. Variables y operacionalización

Arias (2012), define a las variables de la siguiente manera “Variable es una propiedad sujeta a cambios, la cual analizamos, medimos, manipulamos o controlamos en una investigación” (p.57)

Variable Independiente: Plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad

El mantenimiento orientado a la confiabilidad se basa en analizar las fallas potenciales que puede tener un activo, sus causas y sus consecuencias, y ofrece el planteamiento de estrategias que vienen a complementar las opciones de mantenimiento (Azfali et al. (2019).

Dimensiones de la variable

Dimensión 1: Disponibilidad

Esta es una métrica en la que se valora el desempeño de los elementos que realizan una labor específica, en un instante dado, durante un determinado tiempo (Alberti, 2020)

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

Dimensión 2: Confiabilidad

Es la capacidad de un elemento, o conjunto de elementos a no fallar en un tiempo determinado para su manejo bajo condiciones de trabajo establecidas (González, 2021).

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Número de fallas}}$$

Dimensión 2: Mantenibilidad

Es la posibilidad de restablecer un servicio, en un tiempo establecido, a un sistema que presenta una falla o detención en su funcionamiento (González, 2021)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo total de reparación}}{\textit{Número de reparaciones}}$$

Variable Dependiente: Productividad

La eficiencia en el mantenimiento sea asocia a señalar el número de servicios prestados por unidad de tiempo. Es decir cumplir los servicios por un lapso de tiempo (Mora, 2016).

Dimensiones de la variable

Dimensión 1: Eficiencia

Es la relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo (Gestión, 2021).

$$\frac{\textit{Tiempo utilizado en los mantenimiento}}{\textit{Tiempo total de mantenimiento}}$$

Dimensión 2: Eficacia

Es el nivel de obtención de metas y objetivos (Gestión, 2021).

$$\frac{\textit{Mantenimientos realizados por semana}}{\textit{Mantenimientos programadas por semana}}$$

En el anexo 2 se encuentra la matriz de operacionalización completa.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

“Es una colección finito o infinito de organismos, elementos o cosas, que poseen propiedades o características, que son observadas” (Valderrama, 2017, p. 182).

La población de la investigación se conforma por los informes del sector de mantenimiento de la unidad minera.

Muestra

Es una “parte de la población de la cual se toman los datos y que la representa” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 173).

Se consideró como muestra los reportes del área de mantenimiento durante 6 meses.

Muestreo

“se le llama al proceso de seleccionar una parte que identifica a la población, y que permite definir los criterios de la población” (Valderrama, 2017, p. 188).

El muestreo no probabilístico, es el “subconjunto de la población donde vemos que al elegir los elementos no dependemos de la probabilidad, pero sí de las particularidades de la investigación” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 176).

En nuestro estudio se utilizó un muestreo no probabilístico.

Unidad de análisis

Consideramos como unidad de análisis a los reportes mensuales del área de mantenimiento.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

“Actualmente, en investigación científica se tiene un conjunto de técnicas o instrumentos para recolectar información para el desarrollo de una investigación. Según el método y el tipo de investigación que realizamos se usan diferentes técnicas” (Bernal, C. 2010, p.192).

Las técnicas que aplicaremos en nuestra investigación serán: Observación y análisis documental.

Análisis Documental

"Le llamamos a la operación de seleccionar las ideas importantes de un documento con el objetivo de mostrar y extraer la información precisa y exacta"

En esta investigación se estudió los informes mensuales del sector de mantenimiento, y se halló la productividad del sector entre los meses de julio a diciembre del 2020.

Observación

Hernández (2018), sobre la observación indica lo siguiente “Este método de recopilación de datos trata en registrar sistemáticamente, válido y confiablemente los comportamientos y situaciones observados, a través de un conglomerado de categorías y subcategorías” (p.290).

En los primeros cinco meses del 2021, en los cuales se evalúa el impacto del uso del plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad en la productividad, se levantó la información a través de la observación directa o de campo.

Instrumentos de recolección de datos

Validez

Para Hernández (2018), “La validez, es el grado en que un instrumento mide de forma precisa y exacta la variable que desea medir. Donde reflejamos el concepto abstracto por sus indicadores empíricos” (p.229).

Los instrumentos son las fichas donde recolectaron los datos y fueron validados por juicio de tres ingenieros expertos, especialistas del tema de investigación de la escuela de Ingeniería Industrial de la universidad Cesar Vallejo.

Juicio de expertos

Nombres y Apellidos	Pertinencia	Relevancia	Claridad
Mg. Percy Sixto Sunohara Ramírez	Si	Si	Si
Mg. Gustavo Adolfo Montoya Cárdenas	Si	Si	Si
Mg. Augusto Paz Campaña	Si	Si	Si

Confiabilidad

“La confiabilidad de un instrumento de medición se refiere al grado de igualdad de resultados al aplicarlo al mismo individuo repetidamente” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 200).

Dicho instrumento usado en el estudio es confiable ya que los datos se toman área de estudio y los certifica el jefe del sector de mantenimiento.

3.5. Procedimientos

Etapas 1: Trabajo de gabinete Pre-Experimentación

Consiste en la revisión del proyecto, se ahonda en la investigación documental, en el sentido teórico y se revisa las definiciones, las variables y las conjeturas y/o las interrogantes de investigación. También se determina los instrumentos de recolección de datos.

Etapa 2: Implementación

En esta etapa se realiza la manipulación de la variable independiente a través de la implementación de la mejora, para luego observar los efectos en la variable dependiente aplicando los instrumentos construidos al universo o muestra seleccionada.

Etapa 3: Trabajo de gabinete Post Experimentación

Se procesan los datos y se genera el análisis e interpretación de la información.

3.6. Método de análisis de datos

Para la prueba de normalidad de los datos y contraste de hipótesis, usamos el análisis estadístico respectivo, con el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 25. Los datos son tabulados y ordenados en tablas de frecuencias y gráficos con relación a las variables y dimensiones.

En el análisis descriptivo, se estudiará la actuación del objeto de estudio, usando los máximos, mínimos, histogramas, desviación estándar, mediana varianza y media.

En el análisis inferencial, se utilizará la prueba de normalidad para determinar si los datos tienen una actuación paramétrico o no paramétrico, usando el estadístico de Kolmogorov-Smirnov en caso de tener una muestra mayor que 30 y en caso contrario se usará el estadístico de Shapiro-Wilk.

Además, para las conjeturas se usará el cotejo de medias usando el estadígrafo T-Student en caso de ser paramétrico, y en caso contrario se utiliza Wilcoxon.

3.7. Aspectos éticos

Se respetaron distintos principios éticos, dentro de los cuales se tiene en primer lugar el respeto a los derechos de autoría, privacidad y confidencialidad; así tenemos que, la información obtenida fue usada exclusivamente para fines académicos, previa solicitud de los permisos pertinentes y autorizaciones correspondientes.

IV. RESULTADOS

4.1 Diagnóstico actual de la empresa

Generalidades

Esta unidad minera es una industria de carácter minero - metalúrgico mundial que produce cobre y subproductos de carácter valioso.

Estrategia de negocios

Concéntrese en la generación de cobre, manejo de costo, optimización de las producciones y cuidado de la distribución del capital que permite la rentabilidad.

Visión

Convertirse en una asociación que lidere y promueva el desarrollo sostenible mediante la integración de la red social local y la formulación de una estrategia participativa, y ser reconocida por evaluar, mantener y promover la cultura local, el medio ambiente y el desarrollo productivo.

Misión

Nuestra misión es explotar, transformar y comercializar los recursos minerales, satisfacer la demanda del mercado, cumplir con nuestras responsabilidades sociales y ambientales, maximizar la producción de valor para nuestros accionistas.

Fortalezas competitivas

Trabajamos para el progreso

- ✓ La mayor reserva de Cu en la minería
- ✓ Optimo proyecto de crecimiento orgánico
- ✓ Ejecución completamente integrada a módicos costos
- ✓ Personal directivo capacitado
- ✓ Fuerte desempeño financiero / grado de inversión
- ✓ Extraordinario historial de dividendos
- ✓ Buen fundamento de mercado de cobre y molibdeno a largo plazo

Unidad minera Toquepala

La Concentradora Toquepala es una unidad productiva de la empresa, fue puesta en operación en 1959 y ahora mismo tiene una capacidad 60.000 TON diarias. Los minerales que recepcionan en la planta son pórfidos de Cu de una minera a cielo libre a siete kilómetros de distancia y se procesan para obtener Cu concentrado como materia esencial y subproducto del molibdeno concentrado.

Ubicación Geográfica

El yacimiento Toquepala está ubicado al sur Peruano a 68 kilómetros de la ciudad de Tacna, en el distrito de Ilabaya en Jorge Basadre (Tacna) de la minera tiene la siguiente coordenada geográfica:

17° 13' Latitud Sur

70° 36' Longitud Oeste

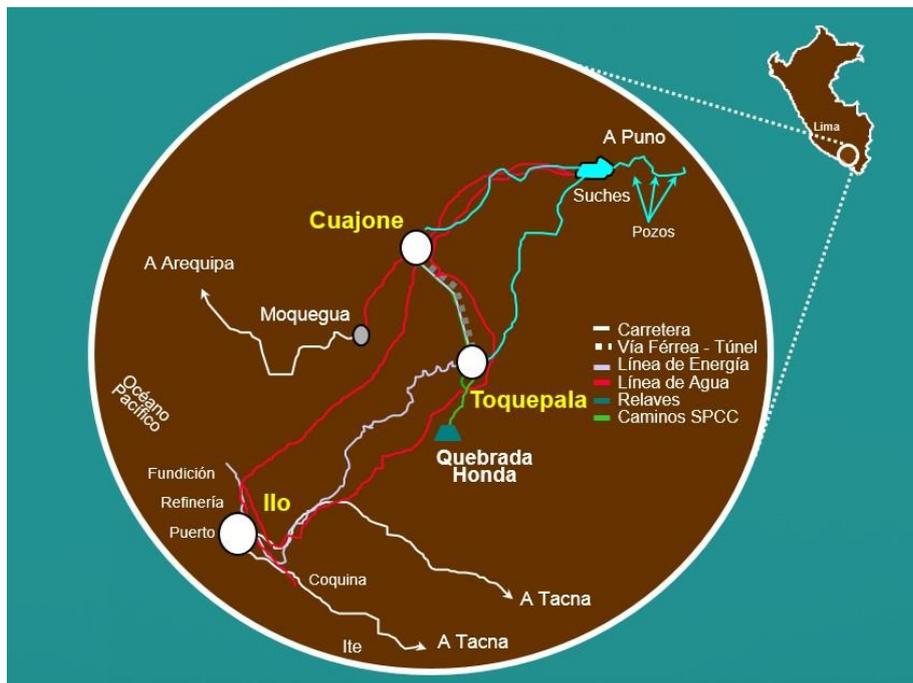


Figura 1. Ubicación de la unidad minera
Fuente: La unidad minera

Descripción del proceso productivo en la unidad minera

El proceso se caracteriza por tener tres etapas de chancado que es la primaria, secundaria y terciaria, además presenta un circuito de trituración de tipo primario y secundario, una flotación de tipo agotativo, limpieza y primario. También presenta un sistema que recupera el molibdeno, filtrador de concentrado y un concentrador de relaves.

Sección de chancado

Chancado primario

El mineral transportado por el camión volquete se almacena en una chancadora rotativa Traylor de 60 "x 113" con un dispositivo de descarga de 6.5 pulgadas. Los minerales son transportados mediante correas a la pila donde se almacenará y la pila intermedia estará cubierta por 02 domos

Chancado secundario

El mineral de la pila intermedia se transporta a cada zaranda vibratorias que son 3 en total. El mineral es seleccionado en la zaranda y luego las partículas gruesas se envían a tres chancadoras de cono MP-800. El chancador secundario tritura el mineral y da un producto de menos de 1½ pulgada.

Chancado Terciario

Los materiales finos obtenidos de cada zaranda y los productos de cada chancadora secundaria son llevados a la siguiente etapa que es la chancadora terciaria

El material producido en el chancador secundario se segmenta en seis tamices. El producto con mayor grosor se tritura en 4 chancadores de cono HP-700 y 2 chancadores de cono HP-800. El material fino de cada zaranda en la etapa terciaria y el material triturado en el chancador terciario forman un producto terciario de ½" que será transportado en una faja hacia una tolva de finos.

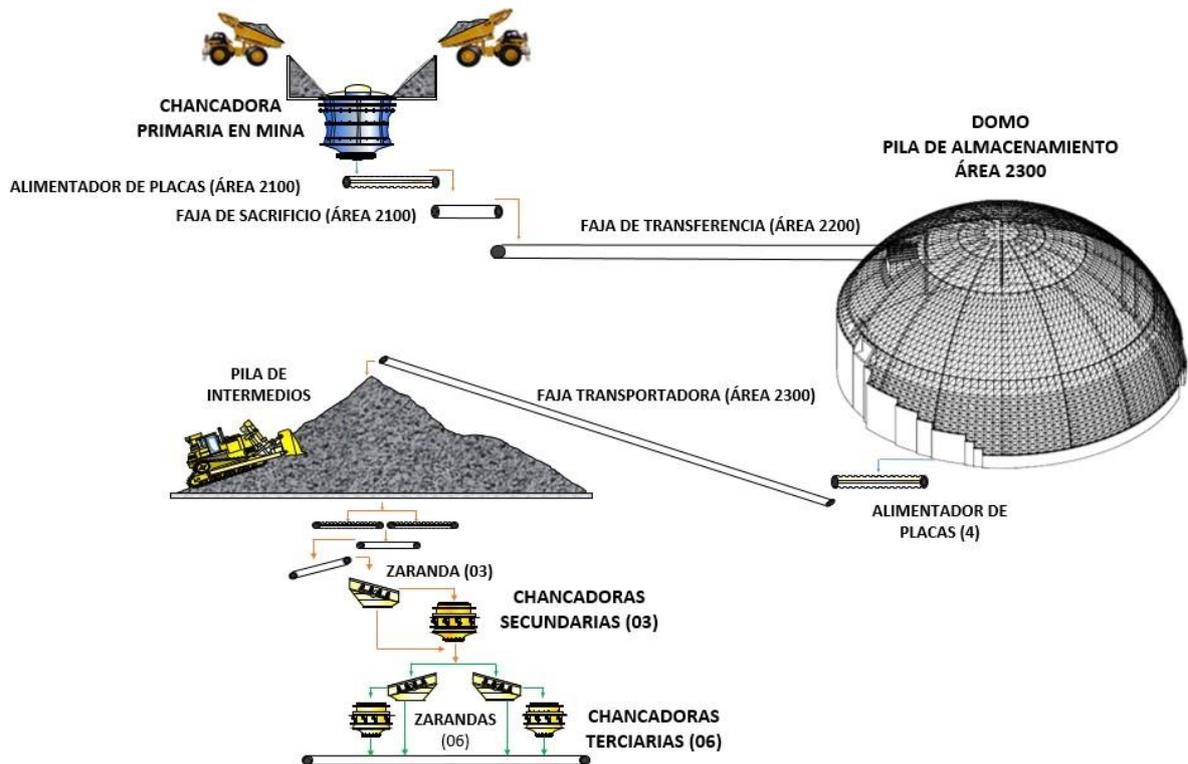


Figura 2. Sección Chancado de la Concentradora
Fuente: La unidad minera

Sección molienda

El espacio de la molienda se divide en dos partes, las cual contamos con dos molinos de bolas (Molino tubular con accionamiento por motor anular) GMD (Gearless Motor Drive) 7.6 metros. x 12.4 metros. Adicionamos agua con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y reactivos colectores. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es adicionado para que Ph pueda subir ligeramente y reducir la pirita

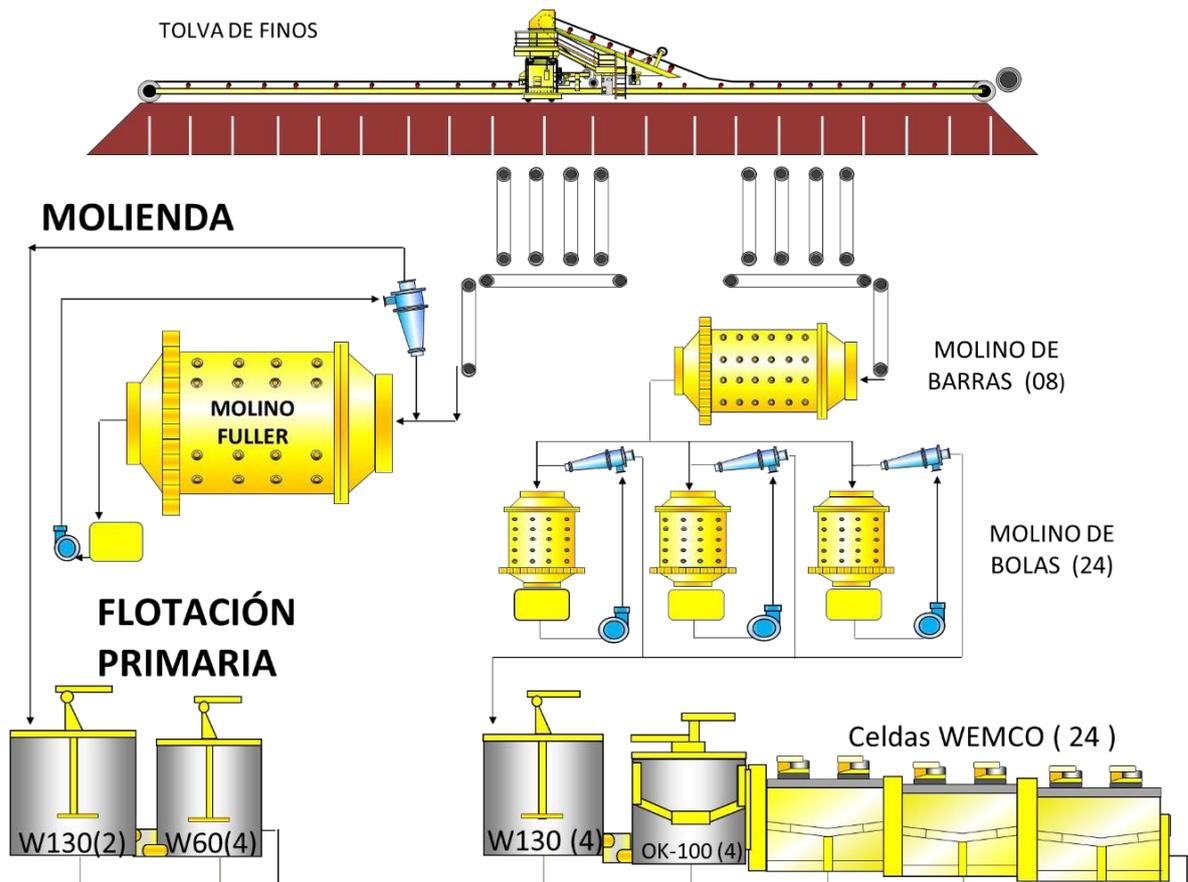


Figura 3. Sección Molienda y Flotación Primaria de la Concentradora Toquepala
Fuente: La unidad minera

Sección Flotación

La pulpa que proviene de las divisiones de la molienda se clasifica mediante hidrociclones, esta separa los fino de lo grueso, por cada hidrociclón el underflow será devuelto al molino de bola y el overflow sera guardado en cajas que van a repartir la pulpa en la celda de flotación, aquí adicionaremos el reactivo colector, donde su fundamental labor es la hidrofobizar la superficie de la partícula de cobre y de esta manera se facilita la fijación a las burbujas que suben a la superficie.

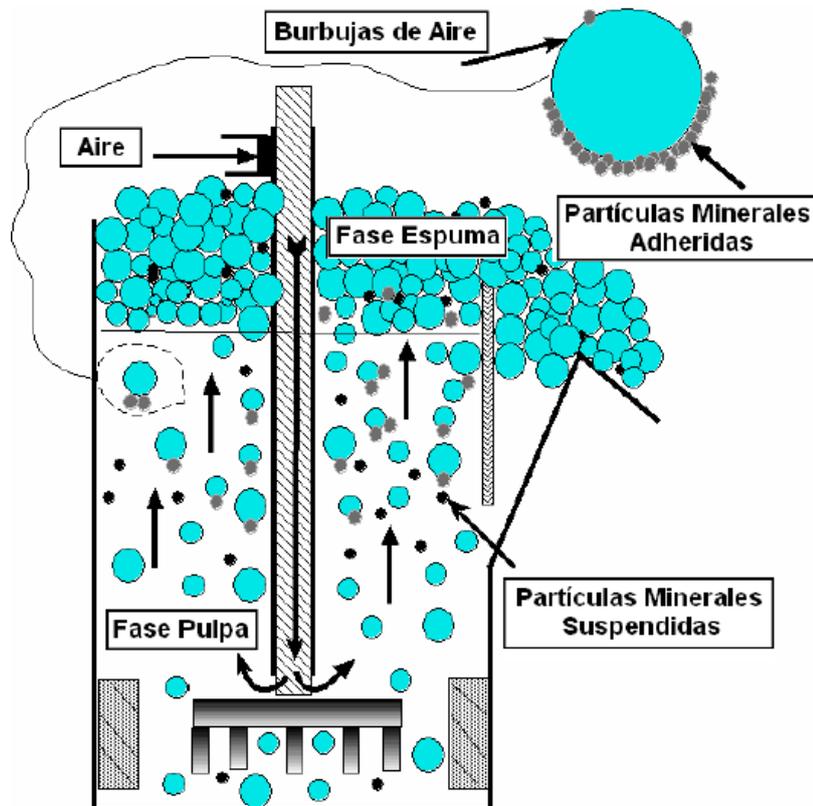


Figura 4. Flotación colectiva
Fuente: La unidad minera

Cada división de la molienda presenta una sola sección de flotación, la cola de la flotación primaria va directamente al espesador de relaves y estos son almacenados en la Quebrada Honda, el concentrado se almacena en una caja llamada "Caja concentradora Primaria", se divide en cinco fracciones de remolienda, la clasificación se da a través de hidrociclones y el overflow es direccionado a la caja centralizada, este se encargará de la distribución de carga a las quince celdas de columna, el concentrado de Cu aumentará por la introducción de aire y reactivos aumentados, el concentrado se guardará en la "Caja Concentradora de Cobre y Molibdeno" y a la vez irá al espesador de Cobre-Molibdeno, esta concentración es denominada "Concentrado Bulk" el cual ingresa como "Alimentador de Planta de Mo". la flotación agotada toma la cola que será llevada otra vez al espesador de relave y el concentrado se recicla en un sistema cerrado.

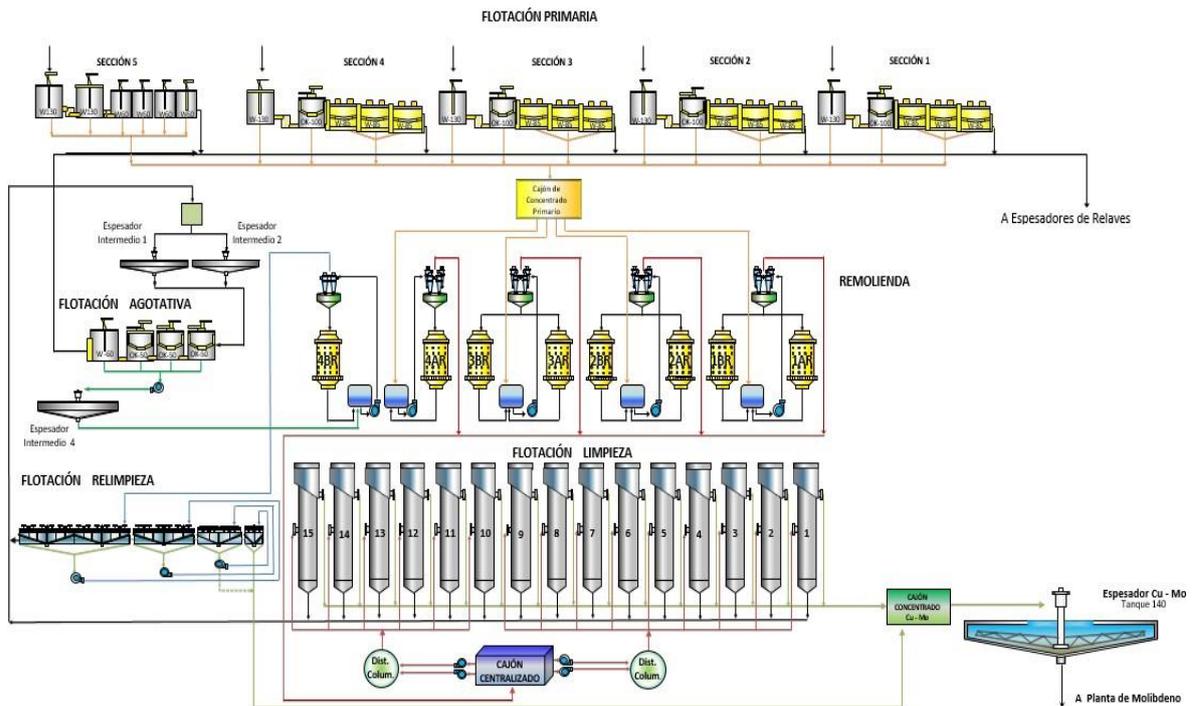


Figura 5. Sistema de flotación - Planta de Cobre, Concentradora Toquepala.
Fuente: La unidad minera

Sección de Flotación

La flotación que se realiza en la planta de Mo es una flotación selectora diferenciada; la función principal será flotar solo el mineral que nos interesa en cada una de las etapas, al adicionar el xantato, el reactivo de flotación y la insuflación de nitrógeno permitirá la elaboración de espuma en la superficie, debido a las características que tiene el hidrosulfuro de sodio el Mo se convierte hidrofóbico y flota con la espuma, El cobre al tener propiedad hidrofílica este se sedimentara en el fondo de la celda y formara una ganga

Flotación primaria

Las flotaciones primaria de Mo acoge la concentración colectiva Cobre-Molibdeno que vienen de la Planta de Cu, y está integrado por treinta celdas rougher WEMCO Inertgas de 2.83 metros cúbicos de almacenamiento, la finalidad de la flotación rougher es optimizar la obtención del Mo en la concentración de Cu, esta va a los dos recipientes espesadores (Tk-100).

El proceso de flotación primario es de aproximadamente 50 toneladas / hora de concentrado colectivo, la tasa promedio de recuperación de molibdeno es del 72% y la producción de todos los días de concentrados de molibdeno es de 30 toneladas / día.

Las flotaciones primarias en la planta de Mo se produce agregando diésel, XAS, PQM (CC-1225) espumante, sulfuro de hidrógeno de Na y H₂SO₄. El sulfuro de hidrógeno de sodio se obtiene de un suministrador en forma sólificada y se genera en un depósito de guardado en una relación de 03 a 01, que corresponde a 75 por ciento de H₂O y 25 por ciento de concentrado de sulfuro de hidrógeno de sodio (NaSH). El diesel se utiliza para optimar la hidrofobicidad de la molibdenita, el NaSH se utiliza como inhibidor del Cu y como es un material altamente oxidable se agrega nitrógeno.

Flotación de limpieza

la primera a la novena comprenderá la flotación de limpieza. Limpieza de capacidad como sigue:

Tabla 3. *Especificaciones de celdas en Flotación de Limpieza*

Etapa de Limpieza	Número de celdas
Primera. Limpieza	Cinco celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Segunda. Limpieza	Doce celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Tercera. Limpieza	Doce celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Cuarta. Limpieza	Ocho celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Quinta. Limpieza	Seis celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Sexta. Limpieza	Cuatro celdas Agitair N°. 48 – 40 ft ³
Septima. Limpieza	Dos celdas Columnas 3' x 40'
Octava. Limpieza	Uno celda Columnas 3.5' x 40'
Novena. Limpieza	Uno celda Columnas 2' x 40'

Fuente: La unidad minera

La séptima., octava. Y novena la Limpieza es desarrollado en la celda columna, a continuación de la 7ma limpieza la pulpa entra en el equipo calorífico donde se calentará hasta 65°C obtención NaSH sea más soluble en la etapa final del proceso.

Resultado del Pre test

Los datos de desempeño proporcionados por la empresa de julio a diciembre de 2020 han sido revisados para analizar la eficiencia del sector de servicio de la unidad minera.

Tabla 4. *Indicadores productividad antes de las implementaciones.*

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO				
Ubicación	Toquepala			
Área:	Molienda			
Responsable:	Eder Henry Nadinho Pariapaza Justo			
Técnica:	Análisis documental			
				Pre Test
N° Muestra	Meses	Eficiencia	Eficacia	Productividad
1	Jul-20	0.93	0.94	0.87
2	Ago-20	0.92	0.89	0.82
3	Set-20	0.94	0.97	0.92
4	Oct-20	0.95	0.93	0.89
5	Nov-20	0.95	1.00	0.95
6	Dic-20	0.94	0.97	0.92
Total		0.94	0.95	0.89

Fuente: Elaboración propia

La meta del área de mantenimiento es tener una productividad del 90% la cual como se puede evidenciar no se ha estado alcanzando.

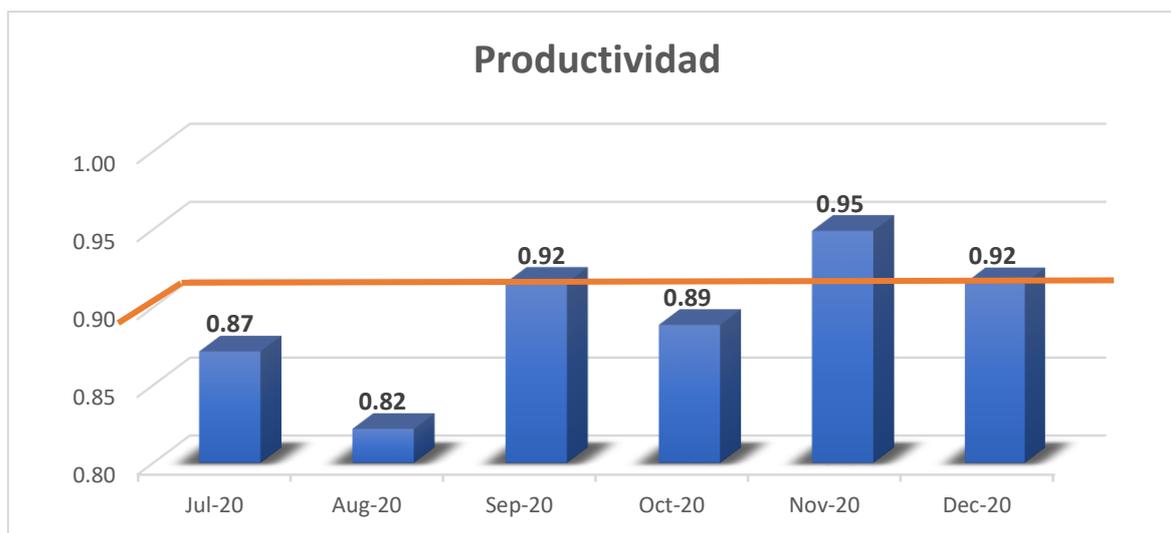


Figura 6. Productividades antes de las mejoras

Fuente: Elaboración propia

4.2 Implementación de la mejora

Reunión con la gerencia

Para asegurar el éxito de la presente investigación, se solicitó la autorización y apoyo a la gerencia de la empresa, la cual se comprometió a brindar la información necesaria y las facilidades para las mejoras, con dos únicas condiciones las cuales fueron: no colocar el nombre de la empresa para exponer a la empresa y que el proyecto solamente se realice en el área de molienda.

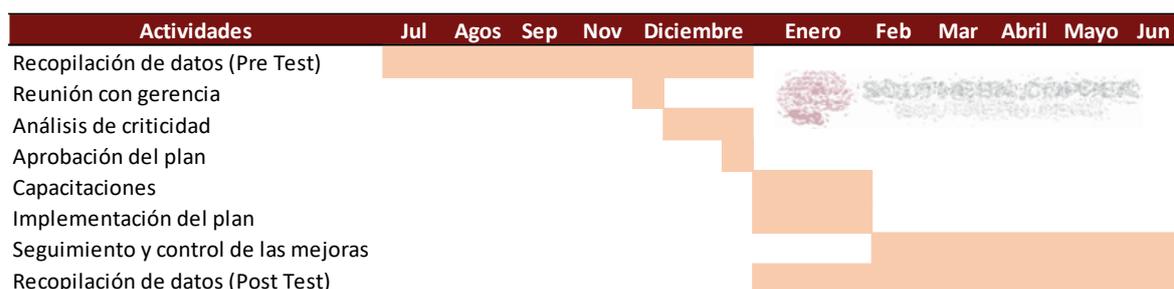


Figura 7. Reunión con gerencia
Fuente: Elaboración propia

Cronograma de implementación

Se planificaron las principales actividades para tener un orden y poder hacer un seguimiento de las etapas de la mejora.

Tabla 5. *Cronograma de implementación*



Fuente: Elaboración propia

Reunión con el equipo de mejora

La elección del equipo que va a liderar el proyecto es parte vital de todo proyecto de mejora, dado que ellos analizan los principales problemas, sus causas raíz y las posibles soluciones a estas. Dichas reuniones se realizaron de forma presencial y virtual según la disponibilidad horaria del equipo.

Líder del equipo: Eder Pariapaza Justo

Apoyo 1: Kevin Gustavo Pilco Bejar

Apoyo 2: Clevert Joel Molina Paredes



Figura 8. Reunión del equipo de mejora
Fuente: Elaboración propia

Capacitaciones

Cuyo fin es de asegurar el compromiso y el éxito del proyecto se realizaron una serie de capacitaciones a los integrantes del equipo y a todos los interesados, sean capacitados en lo que significa e implica una mejora en base a la lean para lo cual se han programado seis capacitaciones.

Tabla 6. *Cronograma de capacitaciones*

Cronograma de capacitaciones							
Fecha	Capacitaciones	S1	S2	S3	S4	S5	S6
9-Ene	Mantenimiento autonomo	■					
16-Ene	Mantenimiento correctivo		■				
16-Ene	Mantenimiento preventivo	■	■	■	■	■	■
23-Ene	Matenimiento predictivo			■	■	■	■
30-Ene	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad					■	■
6-Feb	Herramientas de la gestión de mantenimiento						■

Fuente: Elaboración propia

Las capacitaciones estuvieron a cargo del líder del equipo y se realizaron de forma presencial con el personal en los ambientes de la empresa.



Figura 9. Capacitaciones al equipo de mejora
Fuente: Elaboración propia

Es importante poder validar que las capacitaciones han logrado el efecto esperado, para ello se realizó un pequeño cuestionario para validar algunos conceptos de las capacitaciones de mantenimiento centrado en la confiabilidad

Tabla 7. *Cuestionario validador*

				CUESTIONARIO VALIDADOR			
Inducción:	Capacitación:	Entrenamiento:	Fecha:				
Nombres y Apellidos:							
Responda con sus palabras, recuerde que no hay respuesta errada.							
1. ¿Qué se entiende por mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) ?							
2. ¿Qué son tareas preventivas?							
3. ¿Qué son tareas predictivas?							
4. ¿Para qué sirve el Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos?							
5. ¿Qué se entiende por mantenibilidad?							
6. ¿Qué se entiende por confiabilidad?							
7. ¿Qué se entiende por disponibilidad?							

Fuente: Elaboración propia

Etapas o fase de la implementación del RCM

Para la implementación del RCM, se siguió las fases recomendadas en la Norma SAEJA 1011. Luego se presenta el proceso de las etapas de RCM de nuestro presente estudio:

Fase 1

Es la partida del proyecto, en la cual se debe esclarecer los indicadores que se pretende medir con la implementación del RCM, para esta investigación se buscó mejorar la productividad, por lo cual los indicadores que se han considerados son: mantenibilidad, confiabilidad, disponibilidad, eficiencia y eficacia las cuales fueron planteados en la matriz de operacionalización de variables.

Fase 2

En esta fase se analizan las máquinas más críticas, es decir, las que tienen más fallas para ello se realizó un análisis de criticidad.

Criticidad

El índice de criticidad suele ser un indicador de que las fallas de las máquinas provocan paradas y cortes frecuentes, cuellos de botella, daños a los equipos u otra infraestructura, y retrasos o cortes en otros centros de negocios de una empresa o negocio. "Indicador numérico de la gravedad del error. Esta métrica se determinará en función de la interrupción y el costo de la falla".

$$Criticidad\ Total = Frecuencia * ((Impacto\ operacional \times Flexibilidad) + Costo + Impacto)$$

Análisis de significancia (Criticidad) para clasificar fallas en máquinas críticas, semicríticas y no críticas:

Análisis de criticidad

Consiste en clasificar acciones, equipos y máquinas de acuerdo a su efecto total con el fin de ver mejora en los procedimientos de consignación de recursos de tipo humano, técnico y económico. Para la realización de este análisis se consideraron los criterios subsiguientes:

- ✓ Cantidad de fallas

- ✓ Impacto operativo
- ✓ Flexibilidad operativa
- ✓ Costo del servicio
- ✓ Impacto medio ambiental y de seguridad

Aplicaciones del análisis de la criticidad en la empresa

Esta compañía posee una gran variedad de maquinarias, sin embargo, el presente proyecto se enfoca únicamente en los molinos de bolas.

Molinos de bolas

Los molinos de bolas son máquinas que se utilizan para reducir o triturar determinados materiales húmedos o secos. Asimismo, son tan estables que todas las partículas se tratan de la misma manera.



Figura 10. Molino de bolas
Fuente: Unidad minera

Tabla 8. Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-ML-001

FRECUENCIA DE FALLA		FACTOR
Frecuente: Mayor a 2 fallas		4
Promedio: 1 y 2 al año		3
Bueno: 1 falla al año		2
Excelente: menor a 0.5 fallas al año		1
IMPACTO A LA PRODUCCIÓN		
Pérdidas de producción superiores al 75%		10
Pérdidas de producción entre 50% - 74%		7
Pérdidas de producción entre 25% - 49%		5
Pérdidas de producción entre 10% - 24%		3
Pérdidas de producción menores al 10%		1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción		4
No se cuenta con unidades de reserva que logren cubrir de forma parcial la producción		2
No se cuenta con unidades de reserva en línea		1
COSTOS DE MANTENIMIENTO		
Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 3000		2
Costos de reparación, materiales y mano de obra menores a 3000		1
IMPACTO A SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		
Riesgo alto de pérdida de la vida, daños graves a la salud		8
Riesgo medio de pérdida de la vida, daños importantes a la salud e incidente ambiental		6
Riesgo mínimo de pérdida de la vida y afección a la salud e incidente ambiental menor		3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños al ambiente		1

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se obtiene:

$$Criticidad\ Total = 4 * ((7 * 2) + 2 + 8) = 4 * 24 = 96$$

Es decir, que tiene una frecuencia de 4 y una consecuencia de 24 estas puntuaciones se ubicarán en la matriz de criticidad

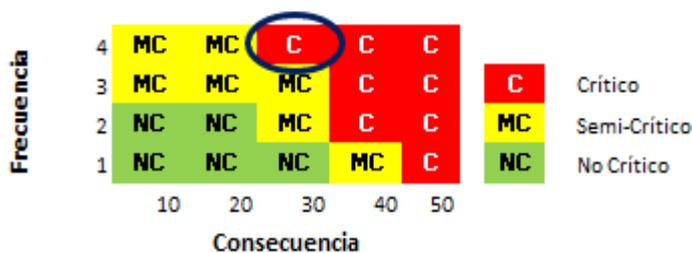


Figura 11. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-ML-001
Fuente: Elaboración Propia

En conclusión el molino de bolas 3200-ML-001 es una máquina crítica.

Tabla 9. Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-ML-002

FRECUENCIA DE FALLA		FACTOR
Frecuente: Mayor a 2 fallas		4
Promedio: 1 y 2 al año		3
Bueno: 1 falla al año		2
Excelente: menor a 0.5 fallas al año		1
IMPACTO A LA PRODUCCIÓN		
Pérdidas de producción superiores al 75%		10
Pérdidas de producción entre 50% - 74%		7
Pérdidas de producción entre 25% - 49%		5
Pérdidas de producción entre 10% - 24%		3
Pérdidas de producción menores al 10%		1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción		4
No se cuenta con unidades de reserva que logren cubrir de forma parcial la producción		2
No se cuenta con unidades de reserva en línea		1
COSTOS DE MANTENIMIENTO		
Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 3000		2
Costos de reparación, materiales y mano de obra menores a 3000		1
IMPACTO A SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		
Riesgo alto de pérdida de la vida, daños graves a la salud		8
Riesgo medio de pérdida de la vida, daños importantes a la salud e incidente ambiental		6
Riesgo mínimo de pérdida de la vida y afección a la salud e incidente ambiental menor		3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños al ambiente		1

Fuente: Elaboración propia

Como resultado obtenemos:

$$Criticidad\ Total = 4 * ((7 * 2) + 2 + 8) = 4 * 18 = 96$$

Es decir, que tiene una frecuencia de 4 y una consecuencia de 24 estas puntuaciones se ubicarán en la matriz de criticidad

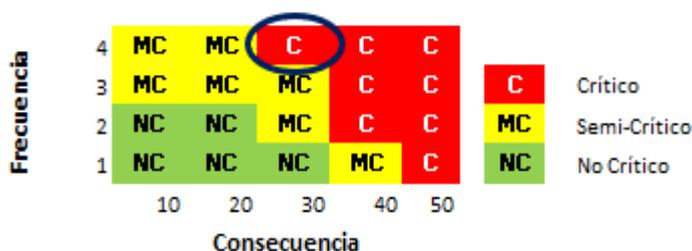


Figura 12. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-ML-002
Fuente: Elaboración Propia

En conclusión el molino de bolas 3200-PP-001 es una máquina crítica.

Tabla 10. Análisis de criticidad del molino de bolas 3200-PP-001

FRECUENCIA DE FALLA		FACTOR
Frecuente: Mayor a 2 fallas		4
Promedio: 1 y 2 al año		3
Bueno: 1 falla al año		2
Excelente: menor a 0.5 fallas al año		1
IMPACTO A LA PRODUCCIÓN		
Pérdidas de producción superiores al 75%		10
Pérdidas de producción entre 50% - 74%		7
Pérdidas de producción entre 25% - 49%		5
Pérdidas de producción entre 10% - 24%		3
Pérdidas de producción menores al 10%		1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		
No se cuenta con unidades de reserva para cubrir la producción		4
No se cuenta con unidades de reserva que logren cubrir de forma parcial la producción		2
No se cuenta con unidades de reserva en línea		1
COSTOS DE MANTENIMIENTO		
Costos de reparación, materiales y mano de obra superiores a 3000		2
Costos de reparación, materiales y mano de obra menores a 3000		1
IMPACTO A SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE		
Riesgo alto de pérdida de la vida, daños graves a la salud		8
Riesgo medio de pérdida de la vida, daños importantes a la salud e incidente ambiental		6
Riesgo mínimo de pérdida de la vida y afección a la salud e incidente ambiental menor		3
No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños al ambiente		1

Fuente: Elaboración propia

Como resultado se obtiene:

$$Criticidad\ Total = 4 * ((5 * 2) + 2 + 6) = 4 * 18 = 72$$

Es decir, que tiene una frecuencia de 4 y una consecuencia de 18 estas puntuaciones se ubicarán en la matriz de criticidad



Figura 13. Matriz de criticidad molino de bolas 3200-PP-001

Fuente: Elaboración Propia

En conclusión el molino de bolas 3200-PP-001 es una máquina semi crítica.

En base a lo obtenido en los análisis de criticidad, se puede categorizar según las máquinas y prioridades que debemos tener para cada una de ellas, y el uso de recursos para mantenerlas siempre en buen estado utilizando métodos de mantenimiento ya conocidos. Por siguiente se muestra la siguiente tabla de criticidad:

Resultado del análisis crítico

Tabla 11. *Resumen del análisis de criticidad*

Área	Línea	Equipo	Criticidad
		3200-ML-001	96
Molienda	Molino Bolas	3200-ML-002	96
		3200-PP-001	72

Fuente: Elaboración propia

Fase 3:

Se realizó un análisis a detalle de la actividad del molino de bolas 3200-ML-001, para ello primero se enumeró las partes de este.

1. Trunnion de alimentación
2. Cilindro de Molino
3. Trunnion con espiral
4. Retenedor de bolas
5. Trunnion magnético
6. Apoyo hidrostático (Cojinetes de alimentación)
7. Apoyo hidrostático (Cojinetes de descarga)
8. Freno de Molino
9. Unidad de Lubricación
10. Rotor
11. Tapa de cojinete de alimentación
12. Tapa de cojinete descarga
13. Revestimiento de cilindro
14. Revestimiento de entrada
15. Revestimiento de salida

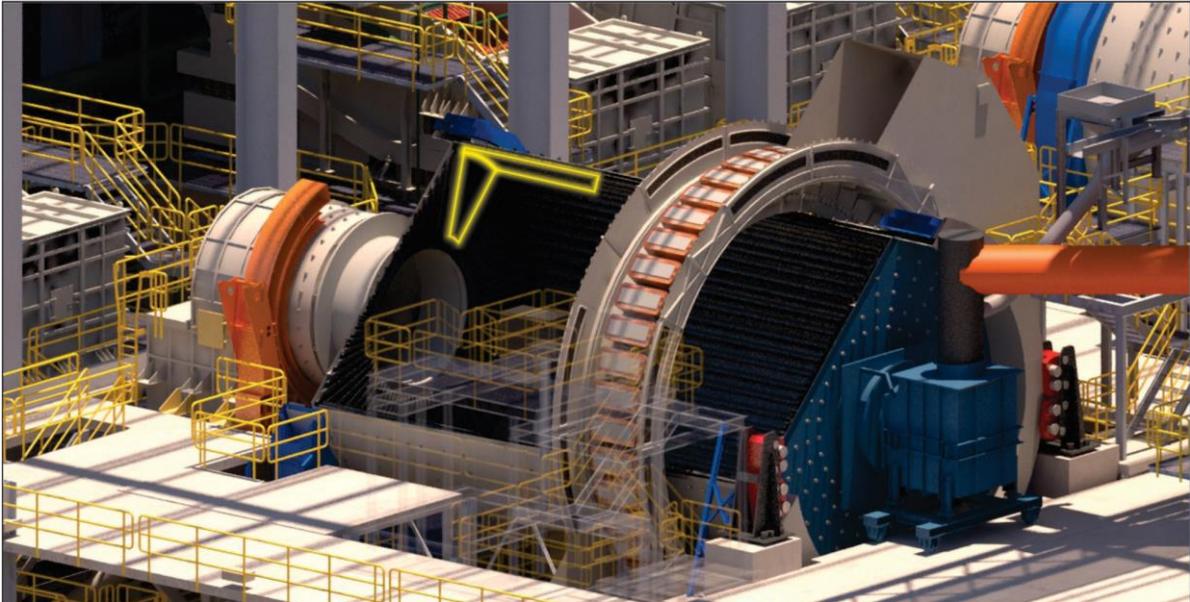


Figura 14. Molino de bolas 3200-ML-001
Fuente: Elaboración propia

Fase 4:

En esta fase estableceremos los fallos funcionales y los efectos de fallo de los molinos de bolas porque son los que establecen con qué regularidad se provocan las fallas y si son en su totalidad o parcialmente

Se detalla la función del Molino que es producir 2000T/h de mineral.

Tenemos la falla funcional del molino de bolas: produce menos de 2000T/h, esto debido a que las bolas de molienda no cumplen con el tamaño requerido.

Los modos de falla son:

1. Cantidad de bolas inadecuadas y bolas con desgaste excesivo.

Causa de falla: control deficiente en el monitoreo de desgaste de bolas.

Efecto de falla: demora en el proceso de triturar poca producción de mineral pérdida de calidad.

2. El cilindro del molino es afectado por impacto y abrasión.

Causa de falla: desgaste prematuro de revestimiento, debido a la cantidad de material a procesar cuando se exceden de la cantidad nominal este genera un desgaste a los revestimientos.

Efecto de falla: Parada de sección por cambio de revestimiento de molino.

3. Cortes de pernos de sujeción de los revestimientos y fuga de material.

Causa de falla: Herramientas de ajuste sin calibración, aplicación de torque inadecuado.

Efecto de falla: Parada de sección por fuga de material y posible daño al revestimiento de molino.

4. Elevada temperatura en los asientos del molino (cojinetes de alimentación y descarga) mayor a 50°C.

Causa de falla: Posible desgaste prematuro en los asientos, desalineamiento, poca presión de aceite.

Efecto de falla: Parada de sección por mala operación.

5. Falla en unidad de lubricación.

Causa de Falla: Filtros obturados por suciedad, poco caudal y presión en sistema de lubricación por bombas con desgaste, cañerías de lubricación obturadas, fugas en línea de lubricación.

Efecto de falla: Para de Molino por temperatura elevada sistemas no permite que opere según necesidad

Sistema de alimentación de mineral al molino, su función alimentar al molino de mineral para su procesamiento.

La falla funcional: poco ingreso de mineral al molino.

Los modos de falla son

1. Fuga de mineral.

Causa de falla: junta desgastada, la entrada no está correctamente posicionada.

Efecto de falla: Para de molino por fuga de mineral.

Retenedor de bolas, su función no permitir que las bolas pasen al cajón de descarga.

La falla funcional: ingreso de bolas al cajón de descarga.

Modo de falla son

1. Retenedor de bolas en mal estado, desgaste excesivo.

Causa de falla: retenedor desgastado por control deficiente en la medición de desgaste.

Efecto de falla: Parada de molino y daño a subsistemas.

Fase 5:

En esta etapa se desarrolla el plan de mantenimiento e indicando los procedimientos de mantenimientos del molino de bolas.

Planes de mantenimientos

Como parte del plan de mantenimiento, se realizaron mejoras para disminuir el periodo de inactividad no planificado de los equipos y se alentó el uso correcto de las instrucciones de operación y repuestos, ya que se observó que muchas operaciones se habían realizado de manera experimental y no se utilizaron los manuales relacionados, estas guías nos brindan beneficios como:

- Familiarícese con las instrucciones de seguridad para el que opera y la maquinaria.
- Garantizar la vida útil de la máquina.
- Verificar las especificaciones tales como tipo de grasa usada, tipo de grasa, rangos de velocidad, tipos de sistemas de agujas usados, etc.
- Conocer el procedimiento de operaciones adecuadas de sintonización y sincronización y los límites de sintonización en sus diversos sistemas mecánicos.
- Diagramas de piezas explosivas en el desmontaje y montaje de piezas y / o piezas involucradas.

Mantenimiento diario

Control visual del molino tubular para detectar posibles fugas.

Examen visual de salidas por cajón de alimentación.

Control visual de fugas por cajón de descarga.

Control visual del sistema de suministro de aceite y del apoyo a los patines.

Control visual de la presión del aceite en el sistema de suministro de aceite.

Mantenimiento semanal

Control visual del molino tubular para detectar posibles grietas y deterioros.

Comprobación del funcionamiento correcto de la obturación.

Controlar los dispositivos locales de control (temperaturas, presiones de aceite) del sistema de lubricación.

Comprobar si las tuberías que transportan aceite tienen fugas del sistema de lubricación, se realiza un seguimiento a todas las líneas de lubricación para verificar si existe alguna fuga.

Controlar el funcionamiento de los divisores de caudal de aceite.

Control visual de los filtros conmutables dobles en cuanto a suciedad.

Control de temperaturas y presiones de aceite en los instrumentos instalados en el suministro de aceite.

Control del aceite en el tanque.

Mantenimiento Mensual

Medición del desgaste de los revestimientos con equipo predictivo llamado Faro Focus 3D que es un escáner para realizar dicho reporte.

Comprobación de tubo de lavado en cuanto a desgaste en el trunnion magnético.

Comprobación de la junta en cuanto a desgaste de cajón de alimentación, al ser un componente de caucho se verifica el desgaste que no exceda de un 40% para continuar trabajando.

Comprobar desgaste del retenedor de bolas, se ingresa al trunnion de descarga para verificar el desgaste del retenedor de bolas se utiliza el procedimiento de ultrasonido.

Mantenimiento cada 6 meses

Efectuar un análisis de aceite del sistema de lubricación, se utiliza una bomba de vacío, con la herramienta de mantenimiento predictivo de diagnóstico para monitorear el estado de los fluidos, se lleva la muestra a laboratorio para verificar si existen contaminación o desgaste de piezas de los equipos.

Cambio de tuberías de alimentación de material y alimentación de bolas, se aprovecha la parada por el cambio de bomba de pulpa.

Reparación Periódica

Cambio de Revestimiento (cada 10 meses)

La reparación del molino de bolas se realiza a la proyección según a las mediciones tomadas en los revestimientos de tapa de alimentación, tapa de descarga y cilindro de molino, cuando el desgaste de los revestimientos llega a un espesor mínimo de 35mm en la tapa de descarga y alimentación o a una producción de 10,000,000 TMS (toneladas métricas secas), cuando el desgaste de los revestimientos del cilindro del molino llega a un espesor mínimo de 70mm o una producción 8,000,000 TMS (toneladas métricas secas) se debe realizar la reparación del molino.

Sistema de lubricación (Una vez al año)

Comprobar todas las conexiones del sistema del suministro de aceite en el interior de las carcasas.

Cambiar aceite de lubricación.

Parte de alimentación (una vez al año)

Comprueba el cajón de alimentación, tiene que cambiar o soldar al desgaste grave.

Comprueba la situación de sellado y desgaste entre el cajón de alimentación y el cilindro espiral, tiene que reparar o cambiar cuando hay escape de material.

Frenos de molino (una vez al año)

Mantenimiento al freno del molino, durante su uso las pastillas de freno se desgastan este desgaste produce una menor fuerza de cierre. Para compensar esta pérdida de fuerza el freno debe ajustarse con regularidad. Las pastillas de freno deben de sustituirse cuando el revestimiento de fricción se haya desgastado 5mm en cada pastilla.

Según Necesidad

Cambio de revestimiento anti desgaste de los cajones de alimentación y descarga según necesidad.

Cambio de tubo de lavado del trunnion magnético, según necesidad

Cambio de la junta de la línea de alimentación al molino según necesidad.

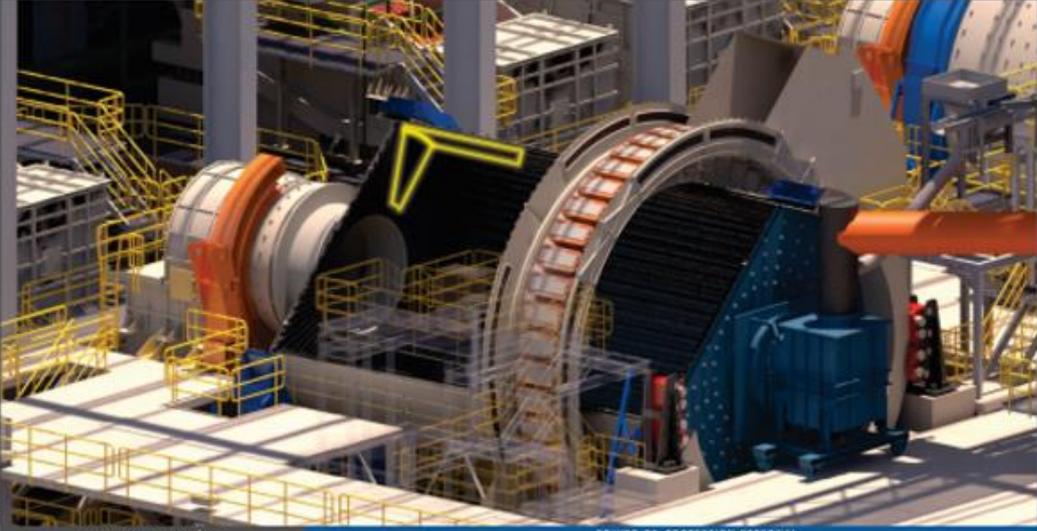
Limpiar o cambiar el cartucho filtrante del filtro conmutable doble en caso de ensuciamiento o según necesidad.

Fase 6:

De forma conjunta el área de mantenimiento con el área de seguridad, se elaboraron procedimientos de trabajo seguro para las actividades.

	PETS			ACUMULACIÓN TOQUEPALA	
	CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS				
	Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:		Molienda
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página:	1 de 9

Preparado Por:	Preparado Por:	Revisado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Eder Paripaza Juato	Jefe Taller: Billy Estrada	Superintendente de Mantenimiento Planta: Walter Carpio	Gerente de Seguridad e Higiene Minera: Jorge Medina Rodriguez	Gerente de Mantenimiento: Javier Pozo Olivares
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:



MANTENIMIENTO MECÁNICO

DURACIÓN	
CANT. PERSONAL	
FRECUENCIA	

RIESGOS ASOCIADOS

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

MNT-MCO-PETS-67-MMO-BA-BA

Figura 15. Procedimientos de trabajo seguro
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. *Indicadores de mantenimiento después de la implementación*

Indicadores de mantenimiento después de la implementación				
Ubicación	Toquepala			
Área:	Molienda			
Responsable:	Eder Henry Nadinho Pariapaza Justo			
Técnica:	Observación Directa			
Post Test				
Indicadores de mantenimiento después de la implementación				
1	Ene-21	6.15	142.35	0.96
2	Feb-21	5.11	157.36	0.97
3	Mar-21	3.12	190.27	0.98
4	Abr-21	0.83	244.00	1.00
5	May-21	4.80	262.11	0.98
6	Jun-21	0.65	234.29	1.00
Total		3.44	205.06	0.98

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. *Indicadores productividad después de la implementación*

Indicadores productividad después de la implementación				
Ubicación	Toquepala			
Área:	Molienda			
Responsable:	Eder Henry Nadinho Pariapaza Justo			
Técnica:	Observación Directa			
Post Test				
Indicadores productividad después de la implementación				
1	Ene-21	0.97	0.93	0.90
2	Feb-21	0.96	1.00	0.96
3	Mar-21	0.98	0.97	0.95
4	Abr-21	0.99	1.00	0.99
5	May-21	0.97	0.96	0.93
6	Jun-21	1.00	0.97	0.97
Total		0.98	0.97	0.95

Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis descriptivos

Para analizar el comportamiento, medidas de tendencia central y de dispersión, de la variable dependiente, se hizo uso del software SPSS 25.

Análisis descriptivo de la Productividad

En este punto se evidencia el porcentaje de los datos analizados de la variable.

Tabla 14. *Datos validos de la Productividad*

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Productividad Pre	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Productividad Post	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Fuente: Reporte de SPSS 25

El histograma con la campana de Gauss de la variable productividad permite observar la conducta de los datos de forma gráfica.

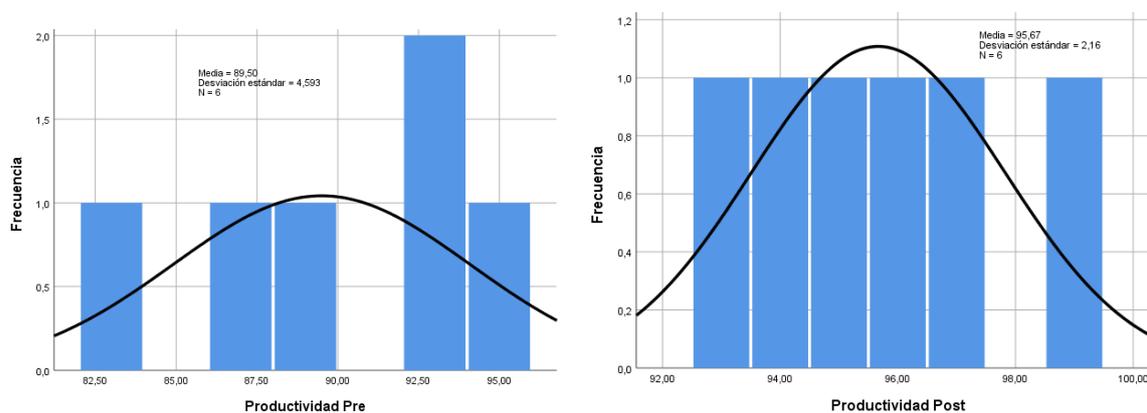


Figura 16. Histograma y la curva de normalidad de la Productividad

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

- La Media de la productividad era 89,50 y luego es 95,60
- La Mediana era 90,50 y luego es de 95,50.
- El valor mínimo y máximo era 82,00 y 95,00 y luego el valor mínimo y máximo es de 93,00 y 99,00.
- La desviación estándar antes era 4,59 y luego es de 2,16.

Análisis descriptivo de la dimensión eficiencia

En esta sección se evidencia el porcentaje de datos procesados de la dimensión eficiencia.

Tabla 15. Datos validos de la Eficiencia

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Eficiencia Pre	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Eficiencia Post	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Fuente: Reporte de SPSS 25

El histograma con la campana de Gauss de la dimensión eficiencia permite observar la conducta de los datos de forma gráfica.

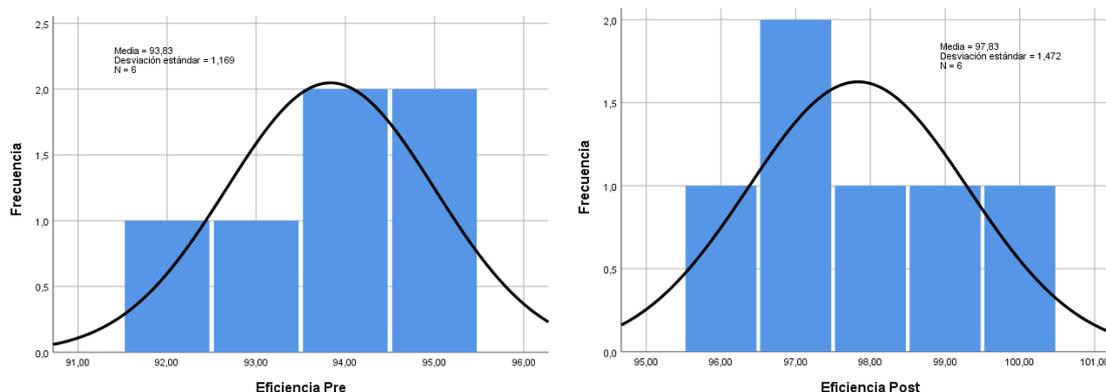


Figura 17. Histograma y la curva de normalidad de la Eficiencia

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

- La Media de la eficiencia era de 93,83 y luego es 97,83
- La Mediana era 94,00 y luego es de 97,50.
- El valor mínimo y máximo era 92,00 y 95,00 ay luego el valor mínimo y máximo es de 96,00 y 100,00 respectivamente.
- La desviación estándar antes era de 1,16 y luego es de 1,47.

Análisis descriptivo de la dimensión eficacia

En esta sección se evidencia el porcentaje de datos procesados de la dimensión eficiencia.

Tabla 16. Datos validos de la Eficacia

	Resumen de procesamiento de casos					
	Válido		Casos Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Eficacia Pre	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Eficacia Post	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Fuente: Reporte de SPSS 25

El histograma con la campana de Gauss de la dimensión eficiencia permite observar la conducta de los datos de forma gráfica.

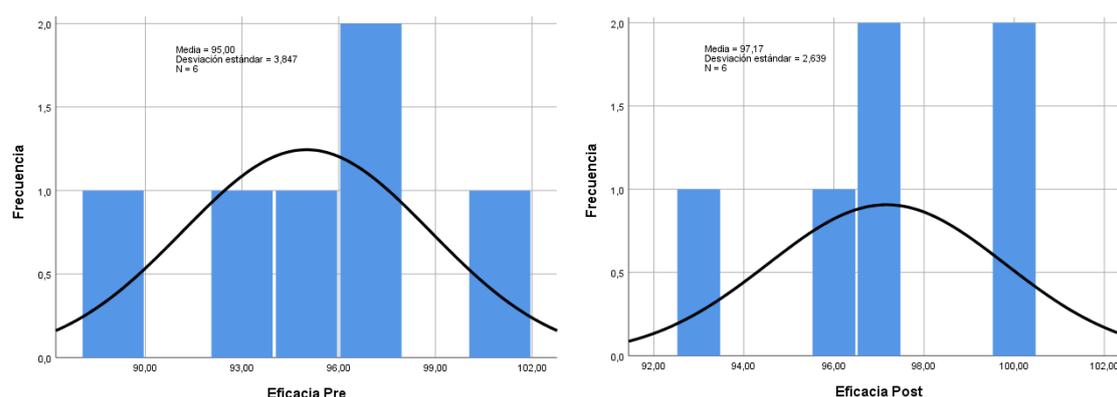


Figura 18. Histograma y la curva de normalidad de la Eficacia

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

- La Media de la eficacia antes era 95,00 y luego es 97,16
- La Mediana antes era 95,50 y luego es de 97,00.
- El valor mínimo y máximo fue de 89,00 y 100,00, luego el valor mínimo y máximo es de 93,00 y 100,00.
- La desviación estándar antes era de 3,84 y luego es de 2,63.

4.4 Análisis Inferenciales

El análisis inferencial permite la contrastación de la hipótesis general y las específicas.

Contrastación de la hipótesis general

Para establecer si los datos tienen una conducta paramétrica o no paramétrica, se debe realizar una prueba de normalidad. Por consiguiente, debido a que: $n=6$, se determina que el estadígrafo adecuado es Shapiro-Wilk.

Regla de Decisión

Condición	Pre	Post	Conclusión
$Sig > 0.05$	Si	Si	Paramétrico
$Sig > 0.05$	Otros casos		No Paramétrico

Tabla 17. Prueba de normalidad de la Productividad

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Productividad Pre	,207	6	,200*	,953	6	,764
Productividad Post	,121	6	,200*	,983	6	,964

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Reporte de SPSS 25

Se comprueba que los datos tienen una conducta paramétrica, donde para la contrastación de hipótesis se aplica el estadístico T-Student.

Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis Nula (Ho): El uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad NO aumenta significativamente la eficiencia en el sector de mantenimiento en la unidad minera.

Hipótesis Alternativa (Ha): El uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia en el sector de mantenimiento en la unidad minera

Regla de Decisión

$$H_0: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Tabla 18. Comparación de medias de la Productividad

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Productividad Post	95,6667	6	2,16025	,88192
	Productividad Pre	89,5000	6	4,59347	1,87528

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la tabla 18, se muestra que el promedio antes fue de 89,5 y es menor que la media después que es 95,6 por lo cual, se evidencia que el uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia en el área de mantenimiento una unidad minera

Para la comparación de la hipótesis, se aplica el estadístico de prueba de T-Student para las muestras:

Regla de decisión

- ✓ Si $Sig \leq 0.05$, se rechazó la hipótesis nula
- ✓ Si $Sig > 0.05$, se aceptó la hipótesis nula

Tabla 19. Estadístico de prueba T-Student para la Productividad

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Productividad Post - Productividad Pre	6,16667	5,56477	2,27181	,32680	12,00653	2,714	5	,042

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la Tabla 19, se demuestra que la importancia de la prueba de muestras emparejadas de T-Student, aplicado a la variable de eficiencia después y antes, muestra un valor de 0.042, con la regla de decisión descrita, se rechazó la conjetura nula, y se aceptó la conjetura del investigador, es decir, que el uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia del sector de mantenimiento en la unidad minera.

Contrastación de la primera hipótesis específica

Para determinar si los datos tienen un comportamiento paramétrico o no paramétrico, se debe realizar la prueba de normalidad. Por consiguiente, debido a que: $n=6$, se determina que el estadígrafo adecuado es Shapiro-Wilk.

Regla de Decisión

Condición	Pre	Post	Conclusión
$Sig > 0.05$	Si	Si	Paramétrico
$Sig > 0.05$	Otros casos		No Paramétrico

Tabla 20. Prueba de normalidad de la dimensión eficiencia

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficiencia Pre	,223	6	,200*	,908	6	,421
Eficiencia Post	,214	6	,200*	,958	6	,804

*. Límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Reporte de SPSS25

Se comprueba que los datos tienen una conducta paramétrica por lo cual, para la contrastación de hipótesis se aplica el estadístico T-Student.

.Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis Nula (Ho): El uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad NO aumenta significativamente la eficiencia en el sector de mantenimiento una unidad minera

Hipótesis Alternativa (Ha): El uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia en el sector de mantenimiento una unidad minera

Regla de Decisión

$$H_o: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Tabla 21. Comparación de medias de la dimensión eficiencia

		Estadísticas de muestras emparejadas			
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 2	Eficiencia Post	97,8333	6	1,47196	,60093
	Eficiencia Pre	93,8333	6	1,16905	,47726

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la tabla 21, se evidencia que el promedio antes fue de 93,8 y es menor que la media después que es 97,8 por lo cual, se evidencia que uso de un plan de

mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia en el área de mantenimiento en la unidad minera

Para la comparación de la hipótesis, se aplica el estadístico de prueba de T-Student en ambas muestras:

Con el fin de afirmar esta hipótesis, procedemos a hacer un estudio más profundo para su validez, mostrando el estadístico de prueba de T-Student para las eficiencias, considerando:

Regla de decisión

- ✓ Si $Sig \leq 0.05$, se rechazó la hipótesis nula
- ✓ Si $Sig > 0.05$, se aceptó la hipótesis nula

Tabla 22. Estadístico de prueba T-Student para la Eficiencia

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas			95% de intervalo de confianza de la diferencia				Sig.
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)
Par 2	Eficiencia Post - Eficiencia Pre	4,00000	1,26491	,51640	2,67256	5,32744	7,746	5	,001

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la Tabla 22, se demuestra que la importancia de la prueba de muestras emparejadas de T-Student, aplicado a la eficiencia después y antes, muestra un valor de 0.001, luego con la regla de decisión descrita, se rechaza la conjetura nula, y se acepta la conjetura del investigador, es decir, que el uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta significativamente la eficiencia en el área de mantenimiento una unidad minera

Contrastación de la segunda hipótesis específica

Para determinar si los datos tienen un conducta paramétrica o no paramétrica, se debe realizar la prueba de normalidad. Por consiguiente, debido a que: $n=6$, se determina que el estadígrafo adecuado es Shapiro-Wilk.

Regla de Decisión

Condición	Pre	Post	Conclusión
$Sig > 0.05$	Si	Si	Paramétrico
$Sig > 0.05$	Otros casos		No Paramétrico

Tabla 23. Prueba de normalidad de la dimensión eficacia

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficacia Pre	,198	6	,200*	,967	6	,873
Eficacia Post	,192	6	,200*	,908	6	,423

Fuente: Reporte de SPSS25

Se comprueba que los datos tienen un conducta paramétrica por lo cual, para la comparación de hipótesis se aplica el estadístico T-Student.

Contrastación de la hipótesis general

Hipótesis Nula (Ho): el uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad NO aumenta significativamente la eficacia en el sector de mantenimiento en la unidad minera.

Hipótesis Alterna (Ha): El uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad aumenta significativamente la eficacia en el sector de mantenimiento en la unidad minera.

Regla de Decisión

$$H_o: \mu_{antes} \geq \mu_{después}$$

$$H_a: \mu_{antes} < \mu_{después}$$

Tabla 24. Comparación de promedios de la Eficacia

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv.	Desv. Error
				Desviación	promedio
Par 3	Eficacia Post	97,1667	6	2,63944	1,07755
	Eficacia Pre	95,0000	6	3,84708	1,57056

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la tabla 24, se evidencia que el promedio antes fue de 95,0 y es menor que la media después que es 97,1 por lo cual, se evidencia que el uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentó significativamente la eficiencia en el área de mantenimiento una unidad minera

Para la comparación de la hipótesis, se aplica el estadístico de prueba de T-Student para las muestras:

Regla de decisión

- ✓ Si $Sig \leq 0.05$, se rechazó la hipótesis nula
- ✓ Si $Sig > 0.05$, se aceptó la hipótesis nula

Tabla 25. Estadístico de prueba T-Student para la Eficacia

Prueba de muestras emparejadas

		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 3	Eficacia Post - Eficacia Pre	2,16667	5,63619	2,30097	-3,74815	8,08149	,942	5	,039

Fuente: Reporte de SPSS 25

De la Tabla 25, se demuestra que la importancia de la prueba de muestras en pareja de T-Student, en la dimensión eficacia después y antes, presenta un valor de 0.039, y con relación con la regla de decisión descrita, se rechazó la conjetura nula, y se acepta la conjetura del investigador, es decir, que uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad aumenta la productividad en el sector de mantenimiento en la unidad minera

V. DISCUSIÓN

De los resultados alcanzados en la investigación y comparando con los antecedentes se realizó la discusión.

La investigación tuvo como fin principal hallar la medida en qué el uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento una unidad minera, lo cual se reflejó en un aumento en la productividad de 89.4% a 95.2% resultado que es muy similar al obtenido por Otero en su investigación titulada “aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Mejorar la Productividad en el Área de Mantenimiento de la Empresa Maquiperu S.A., San Luis 2019”, mostró un aumento de la productividad en el área de mantenimiento de 41.13% a 70.84%, de igual manera Haris en su artículo “Machine Maintenance Planning in Manufacturing Company using RCM II Methods” cuyo objetivo se centró en aumentar el índice de productividad en una empresa de manufactura, para lo cual aplicaron la metodología RCM apoyada con la matriz de AMEF y un análisis de criticidad de fallas, se evidenció un aumento de la productividad en un 37%. Estos resultados son reforzados por el autor Mora (2011) quien sostiene que: “El mantenimiento orientado a la confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento, que ayuda para reconocer las actividades de mantenimiento y frecuencias correspondientes a los activos primordiales del contexto operacional” (p. 67).

Respecto al primer objetivo específico que fue, determinar la medida en qué el uso de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumentara la productividad en el área de mantenimiento una unidad minera, lo cual se evidenció con un incremento del 93.9% a 98%, resultados que es similar al obtenido por Blanco y Leiva, en su investigación titulada, “Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Máquinas Botoneras Robóticas para incrementar la Productividad en una empresa de confección textil. Ate, 2019” en la cual se muestra un aumento en la productividad del 78.4% a 84.1% ambos resultados son sostenidos por los autores Barros, Valencia y Vargas (2014) la implementación del RCM mejoró la confiabilidad de los equipos con el análisis de Tiempo medio entre fallas (MTBF), es decir, que al mejorar la confiabilidad

se disminuye el tiempo medio entre fallas y permite alcanzar la producción programada.

respecto al segundo objetivo específico el cual fue, establecer la medida en qué el uso de un plan de mantenimiento orientado a la confiabilidad mejora la productividad en el sector de mantenimiento una unidad minera, lo cual se evidenció con un incremento del 95.1% a 97.2%, resultados que es similar al obtenido por Marchena, en su investigación titulada, “Implementación Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM) Para Aumentar La Productividad Del Área De Producción De Tableros De La Empresa Sertes S.A.C, Lima, 2018”, en la cual se muestra un aumento en la productividad del 22.5% y un generó un ahorro de S/ 12,300.00 , ambos resultados son sostenidos por el autor Gutiérrez (2010) explicó: “la productividad es el grado que se realiza las actividades dispuestas y se logran los resultados previstos” (p.21). y con el mantenimiento centrado en la confiabilidad es posible lograr ello puesto que se evitan las paradas no programadas.

Una de las principales limitaciones de esta investigación fue la obligación de la gerencia, que desde el comienzo se opusieron a que el nombre de la empresa se publique para no exponer las falencias internas puesto que es una de las principales mineras del Perú. Además de un limitado tiempo para las capacitaciones y acceso a información de otras áreas para el análisis y cruce de información.

VI. CONCLUSIONES

Se llegó a las siguientes

1. Se concluyó que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta la eficiencia en el sector de mantenimiento una unidad minera, lo cual se evidenció con el incremento del 89.4% a 95.2% y fue contrastado estadísticamente a través de la prueba de muestras emparejadas de T-Student, aplicado a la variable productividad después y antes, con una significancia de 0.042.
2. Se concluyó que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta la eficiencia en el sector de mantenimiento una unidad minera, lo cual se evidenció con el incremento del 93.9% a 98.0% y fue contrastado estadísticamente a través de la prueba de muestras emparejadas de T-Student, el cual se aplicó a la dimensión eficiencia después y antes, con una significancia de 0.001.
3. Se concluyó que la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad aumenta la eficacia en el sector de mantenimiento una unidad minera, lo cual se evidenció con el incremento del 95.1% a 97.2% y fue contrastado estadísticamente a través de la prueba de muestras emparejadas de T-Student, el cual se aplicó a la dimensión productividad después y antes, con una significancia de 0.039.

VII. RECOMENDACIONES

En base a la presente investigación se aconseja a la gerencia y jefes de áreas implicadas:

1. Comprometer a la alta gerencia con los proyectos de mejoras, para que permita las facilidades y asegure el éxito de los mismos.
2. Continuar de forma sostenible con la aplicación del mantenimiento orientado a la confiabilidad para que las mejoras obtenidas en la presente investigación sean sostenibles en el tiempo.
3. Capacitar de forma constantemente al personal de mantenimiento, creando una conciencia de mejora y buscando la participación de todos.
4. Investigar las nuevas tendencias en el mantenimiento, para estar a la vanguardia de los avances y poder aplicarlo en esta empresa o a otras del mismo rubro.

REFERENCIAS

- A new model of Ishikawa diagram for quality assessment.* Luca, Liliana. 2016. 2016, IOP conference series: Materials science and engineering, págs. 23-25.
- Ability to mill rocks in open-pit mining.* Lukasz, Boloz y Krzysztof, Krauze. 2018. 2018, International multidisciplinary scientific geoconference: SGEM.
- Alberti, Ana. 2020.** Alsglobal. [En línea] 24 de agosto de 2020. <https://www.alsglobal.com/es-co/news/articulos/2020/08/como-calculiar-a-disponibilidad-de-maquinas-e-equipamentos>.
- Baena, Guillermina. 2017.** *Metodología de la investigación.* Mexico : Grupo Editorial Patria, 2017.
- Banco Mundial. 2020.** La producción minera se dispara con el aumento de la demanda de energía limpia. *Banco Mundial.* 11 de mayo de 2020.
- Blanco, Franklin y Leyva, Elizabeth. 2019.** *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad en Máquinas Botoneras Robóticas para incrementar la Productividad en una empresa de confección textil. Ate, 2019.* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo : s.n., 2019.
- Carrasco Díaz, S. 2005.** *Metodología de la investigación científica.* Lima : Editorial San Marcos, 2005.
- CooperAction. 2016.** Ritimo. [En línea] 24 de junio de 2016. <https://www.ritimo.org/Las-tendencias-de-la-inversion-minera-a-nivel-mundial-y-el-caso-de-America>.
- Cueva, Cristhian. 2019.** *Modelo de gestión de mantenimiento centrado en la confiabilidad para mejorar la productividad de la empresa Cementos Selva S.A.* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo : s.n., 2019.
- Fried, Harold, Knox, C y Schmidt, Shelton. 2008.** *The measurement of productive efficiency and productivity growth.* New York : Oxford University Press, 2008.
- Fuzzy Reliability Centered Maintenance Considering Personnel Experience and Only Censored Data.* Fuentes, M, y otros. 2021. 3, 2021, Computers & Industrial Engineering, Vol. 158, pág. Art. 107440.
- Gestión. 2021.** Gestión.pe. [En línea] 26 de mayo de 2021. <https://gestion.pe/economia/management-empleo/eficiencia-eficacia-diferencias-eficaz-eficiente-significado-conceptos-nnda-nnlt-249921-noticia/>.
- González, Alejandro. 2021.** Predictiva 21. [En línea] 2021. <https://predictiva21.com/confiabilidad-mantenibilidad-ciclo-vida-activo/>.
- Hernández, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. 2014.** *Metodología de la investigación.* México : McGraw-Hill, 2014.
- Is failure mode and effect analysis reliable?* Shebl, Nada, Bryony, Franklin y Barber , Nick. 2009. 2009, Journal of patient safety, págs. 86-94.
- La importancia del mantenimiento preventivo al seleccionar equipos para un centro de datos minero.* Pinedo, Gustavo. 2016. 2016, Rumbo minero.

Levitt, Joel. 2009. *The handbook of maintenance management*. New York : Industrial press, 2009.

Machine Maintenance Planning in Manufacturing Company using RCM II Methods. **Haris, S, As'adi, M y Montreano, D. 2021.** 1, 2021, Journal of Physics Conference Series, Vol. 1899, págs. 12-20.

Marchena, Fred. 2018. *Implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para aumentar la productividad del área de producción de tableros de la empresa Sertes S.A.C., Lima, 2018.* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo : s.n., 2018.

Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos. **Campos, Omar, y otros. 2019.** 2019, Científica, págs. 51-59.

—. **Campos, Omar, y otros. 2018.** 2018, Revista Científica.

MINEM. 2021. Ministerio de Energía y Minas. [En línea] 2021. http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159.

Minería en America Latina y el Caribe, un enfoque socioambiental. **Viana, Ricardo. 2018.** 2018, Revista U.D.C.A. Actualidad y Divulgación Científica.

Minería global contemporánea o financiarizada. **Concha, Elizabeth. 2017.** 27, 2017, Revista Ola Financiera, Vol. 10.

Otero, Jean. 2019. Tesis. *Aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Mejorar la Productividad en el Área de Mantenimiento de la Empresa Maquiperu S.A., San Luis 2019.* Lima, Perú : s.n., 2019.

Palomino, Juan, Peña, Julio y Zevallos, Gudelia. 2019. *Metodología de la investigación. Guía para elaborar un proyecto de salud y educación.* Lima : Editorial San Marcos EIRL, 2019.

Peralta, X. 2021. Pymmerang. [En línea] 2021. <https://www.pymmerang.com/direccion-de-negocios/1035-aplicando-el-design-thinking-para-resolver-problemas-de-negocio-cuando-su-mente-se-ha-bloqueado>.

Predicting the unpredictable: Consideration of human and organisational factors in maintenance prognostics. **McDonnell, D, y otros. 2018.** 2018, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 54, págs. 131-145.

Reliability, availability and maintainability analysis of a cement plant: a case study. **Choudhary, Devendra, Tripathi, Mayank y Shankar, Ravi. 2019.** 2019, International Journal of Quality and Reliability Management.

Reliability-centered maintenance methodology and application: a case study. **Afefy, Islam. 2010.** 2010, Engineering.

Southern Perú. 2015. *Memoria anual de acuerdo con lo establecido en la sección 13 ó 15 de la Ley de Títulos Valores y Bolsas de 1934.* 2015.

Tamayo y Tamayo, Mario. 2007. *El Proceso de la Investigación Científica.* Mexico : s.n., 2007.

The pareto managerial principle: when does it apply? **Grosfeld, Abraham, Ronen, Boaz y Kozlovsky, Nir. 2007.** 2007, International journal of production research.

What is project efficiency and effectiveness. **Sundqvist, Erik, Backlund, Fredrik y Chronéer, Diana. 2014.** 2014, Procedia-Social and Behavioral Sciences, págs. 278-287.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

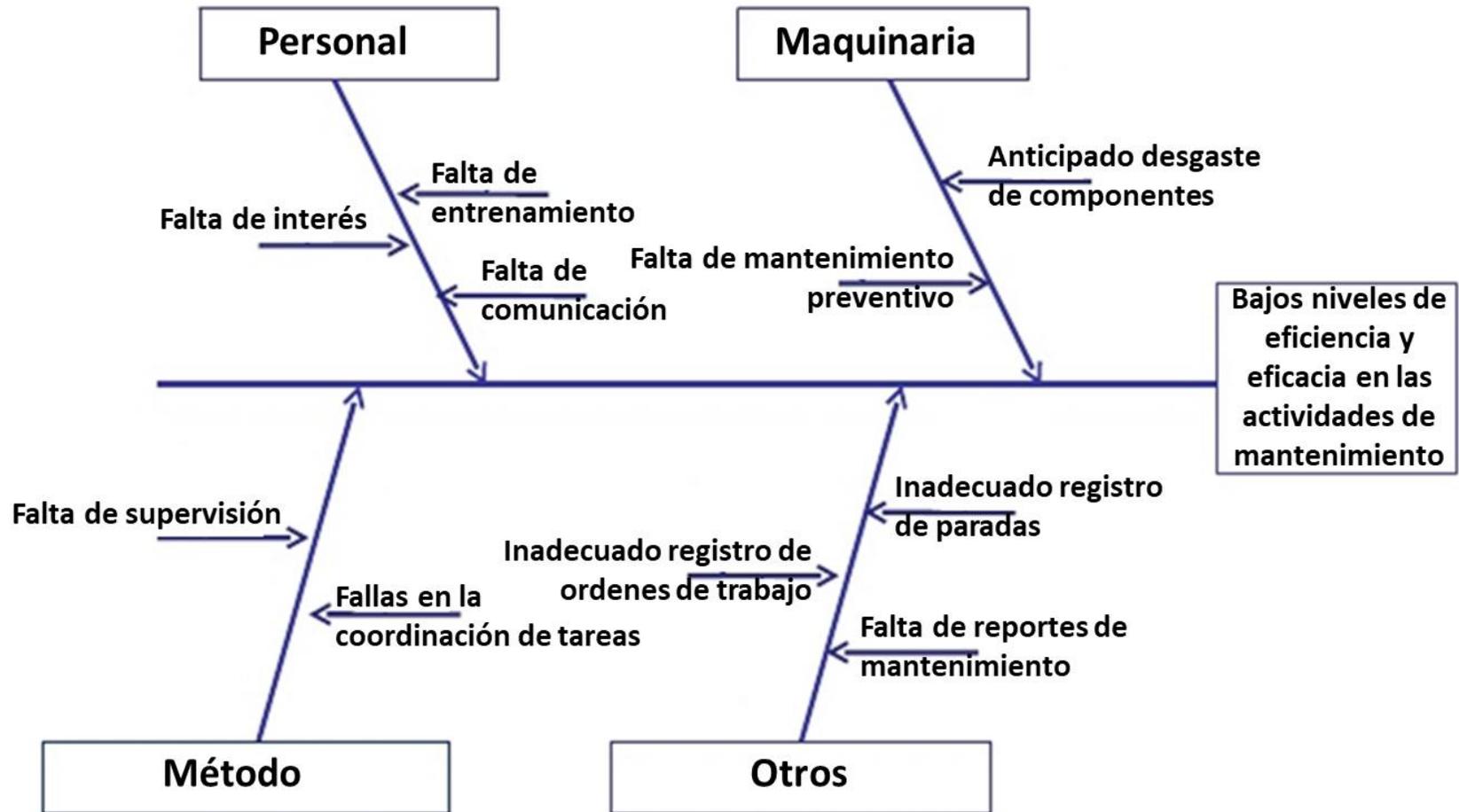
Aplicación de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para mejorar la productividad en el área de mantenimiento una unidad minera -2021

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Metodología
Problema General: ¿En qué medida la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera?	Objetivo general: Determinar la medida en qué la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera	Hipótesis general: La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora significativamente la productividad en el área de mantenimiento en una unidad minera	Variable independiente: Mantenimiento centrado en la confiabilidad	Disponibilidad	Enfoque de la investigación Cuantitativo
				Confiabilidad	Tipo de investigación Aplicada
				Mantenibilidad	Nivel de la investigación Explicativa
Problema específico 1: ¿En qué medida la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la eficiencia en el área de mantenimiento en una unidad minera?	Objetivo específico 1: Determinar la medida en qué la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la eficiencia en el área de mantenimiento en una unidad minera	Hipótesis específica 1: La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora significativamente la eficiencia en el área de mantenimiento en una unidad minera	Variable dependiente: Productividad	Eficiencia	Diseño cuasi experimental
Problema específico 2: ¿En qué medida la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la eficacia en el área de mantenimiento en una unidad minera?	Objetivo específico 2: Determinar la medida en qué la aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora la eficacia en el área de mantenimiento en una unidad minera	Hipótesis específica 2: La aplicación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad mejora significativamente la eficacia en el área de mantenimiento en una unidad minera		Eficacia	Técnica La observación Análisis documental
					Instrumento Ficha de recolección de datos

Anexo 2: Matriz de operacionalización

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIÓN	DEFINICION DE LA DIMENSION	INDICADOR	INSTRUMENTO	ESCALA
Independiente: Modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad	El mantenimiento centrado en la confiabilidad se basa en analizar las fallas potenciales que puede tener un activo, sus causas y sus consecuencias, y ofrece el planteamiento de estrategias que vienen a complementar las opciones de mantenimiento (Azfali et al. (2019).	La metodología del RCM propone la identificación de las necesidades reales de mantenimiento de los activos, no basado en una fórmula matemática sino en un análisis situacional, el cual es posible a partir de siete preguntas claves que definen su implantación (Azfali et al. (2019).	Disponibilidad	Es una métrica en la que se evalúa el rendimiento de los elementos que realizan una función determinada, en un momento determinado, durante un periodo determinado (Alberti, 2020)	Tiempo medio entre fallas (MTBF) $\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	Formato de Análisis de Modo y Efecto de Fallas	razón
			Confiabilidad	Es la capacidad de un componente, equipo o sistema, de no descomponerse o fallar durante el tiempo previsto para su funcionamiento bajo condiciones de trabajo perfectamente definidas (González, 2021).	Tiempo medio entre fallas (MBTF) $MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Número de fallas}}$	Formato de Análisis de Modo y Efecto de Fallas	razón
			Mantenibilidad	Es la probabilidad de restituir o volver al servicio, en un tiempo determinado, a un sistema que ha sufrido una falla o interrupción en su funcionamiento (González, 2021)	Tiempos de reparación de la maquina (MTTR) $MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de reparaciones}}$	Formato de Análisis de Modo y Efecto de Fallas	razón
Dependiente: Productividad	La productividad en el mantenimiento está más asociada a indicar el número de servicios prestados por unidad de tiempo. Se refiere al cumplimiento de los servicios por un periodo de tiempo (Mora, 2016).	Para determinar la productividad se debe de considerar principalmente como recurso la mano de obra directa y lo que demande la actividad (Mora, 2016).	Eficiencia	Es la relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo (Gestión, 2021).	Índice de tiempo en los mantenimientos $ITM = \frac{\text{Tiempo utilizado en los mantenimiento}}{\text{Tiempo total de mantenimiento}}$	Ficha de registro de paradas	razón
			Eficacia	Es el nivel de consecución de metas y objetivos (Gestión, 2021).	Índice de mantenimientos realizados $IMR = \frac{\text{Mantenimientos realizados por semana}}{\text{Mantenimientos programadas por semana}}$	Ficha de registro de paradas	razón

Anexo 3: Diagrama de Ishikawa



Anexo 4: Instrumento de recolección de datos

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Ubicación Toquepala
Área: Molienda
Responsable: Eder Henry Nadinho Pariapaza Justo
Técnica:



N° Muestra	Meses	Mantenibilidad	Confiabilidad	Disponibilidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Total				

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE PRODUCTIVIDAD DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO

Ubicación Toquepala
Área: Molienda
Responsable: Eder Henry Nadinho Pariapaza Justo
Técnica:



Post Test

N° Muestra	Meses	Eficiencia	Eficacia	Productividad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
Total				

Anexo 5: Validación de expertos



CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LAS VARIABLES: Plan de RCM y productividad

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE RCM		Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
Dimensión 1: DISPONIBILIDAD								
Indicador:	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	X		X		X		
Dimensión 2: CONFIABILIDAD								
Indicador:	$\frac{MTBF}{MTBF} \times \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Número de fallas}}$	X		X		X		
Dimensión 3: MANTENIBILIDAD								
Indicador:	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de reparaciones}}$	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE: PRODUCTIVIDAD								
Dimensión 1: EFICIENCIA								
Indicador	$EM = \frac{\text{Tiempo utilizado en los mantenimientos}}{\text{Tiempo total de mantenimiento}}$	X		X		X		
Dimensión 2: EFICACIA								
Indicador	$EMR = \frac{\text{Mantenimientos realizados por semana}}{\text{Mantenimientos programados por semana}}$	X		X		X		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si hay suficiencia

Opinión de aplicabilidad: **Aplicable [X]** **Aplicable después de corregir []** **No aplicable []**

Apellidos y nombres del juez validador: Mg. Montoya Cárdenas, Gustavo Adolfo
DNI: 07500140

Especialidad del validador: Ingeniero Industrial

Lima, 21 de septiembre del 2021

Pertinencia: El indicador corresponde al concepto teórico formulado.

Relevancia: El indicador es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LAS VARIABLES: Plan de RCM y productividad

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE RCM		Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
Dimensión 1: DISPONIBILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	X		X		X		
Dimensión 2: CONFIABILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Número de fallas}}$	X		X		X		
Dimensión 3: MANTENIBILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de reparaciones}}$	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE: PRODUCTIVIDAD		Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
Dimensión 1: EFICIENCIA		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador	$ITM = \frac{\text{Tiempo utilizado en los mantenimientos}}{\text{Tiempo total de mantenimiento}}$	X		X		X		
Dimensión 2: EFICACIA		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador	$IMR = \frac{\text{Mantenimientos realizados por semana}}{\text{Mantenimientos programados por semana}}$	X		X		X		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si hay suficiencia

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Percy Sixto Sunohara Ramírez
DNI: 40608759

Especialidad del validador: Msc. Dirección de TI, Ingeniero Industrial

Lima, 02 de agosto del 2021

¹Pertinencia: El indicador corresponde al concepto técnico formulado.

²Relevancia: El indicador es apropiado para representar el componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Firma del Experto Informante.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO QUE MIDE LAS VARIABLES: Plan de RCM y productividad

VARIABLE INDEPENDIENTE: PLAN DE RCM		Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
Dimensión 1: DISPONIBILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$	X		X		X		
Dimensión 2: CONFIABILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$MTBF = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Número de fallas}}$	X		X		X		
Dimensión 3: MANTENIBILIDAD		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador:	$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparación}}{\text{Número de reparaciones}}$	X		X		X		
VARIABLE DEPENDIENTE: PRODUCTIVIDAD		Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		Sugerencias
Dimensión 1: EFICIENCIA		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador	$ITM = \frac{\text{Tiempo utilizado en los mantenimientos}}{\text{Tiempo total de mantenimiento}}$	X		X		X		
Dimensión 2: EFICACIA		Si	No	Si	No	Si	No	
Indicador	$IMR = \frac{\text{Mantenimientos realizados por semana}}{\text{Mantenimientos programados por semana}}$	X		X		X		

Observaciones (precisar si hay suficiencia): Si hay suficiencia

Opinión de aplicabilidad: Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Apellidos y nombres del juez validador: Augusto Paz Campaña
DNI: 07945812

Especialidad del validador: Ingeniero Industrial

Lima, 02 de agosto del 2021

¹Pertinencia: El indicador corresponde al concepto técnico formulado.

²Relevancia: El indicador es apropiado para representar el componente o dimensión específica del constructo

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del indicador, es conciso, exacto y directo.

Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los indicadores planteados son suficientes para medir la dimensión.

Firma del Experto Informante.

Anexo 6: Reportes del área de mantenimiento antes de la mejora

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE JULIO						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
1-Jul-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio y refuerzo de líneas de alimentación al molino número 2	08:00:00	08:30:00	0.5
2-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Falla de varias señales a la vez (presión, temperatura, flujo, etc)	09:26:00	09:50:00	0.4
3-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	perdida de señal.	21:30:00	21:48:00	0.3
6-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Se realiza mantenimiento a bomba warman N°1	06:30:00	08:30:00	12
6-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Bomba warman 1en matto programado (06 horas)	08:30:00	20:20:00	18
8-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Se activa parada de emergencia, por falsa señal.	08:42:00	08:50:00	0.1
08-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Perdida de señal de sensores de presión y flujo.	0.397908667	0.427777778	0.72
08-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Fuga de carga por perno roto en el sexto anillo molino N°1	0.427777778	0.470833333	103
08-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Perdida de señal sistema de enfriamiento - lubricación	0.255555556	0.258333333	0.07
09-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Perdida de señal sistema de enfriamiento - lubricación	0.606944444	0.615277778	0.2
22-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros del molino número 1	08:15:00	08:30:00	0.25
22-Jul-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Válvula trabada de drenaje de pump box N°2	04:00:00	06:30:00	2.5
23-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros molino 1	06:30:00	08:30:00	12
23-Jul-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Fuga de carga por perno roto anillo numero 4	06:30:00	11:40:00	5.167
23-Jul-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Bajo nivel de pila de finos por problemas mecánicos HPGR 1	08:30:00	08:28:00	1967
24-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros molino número 1	06:30:00	08:30:00	12
24-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros molino número 1	08:30:00	06:30:00	12
25-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros molino número 1	06:30:00	08:30:00	12
25-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de forros molino número 1	08:30:00	06:30:00	12
26-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de Forros	06:30:00	08:30:00	12
26-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambio de Forros	08:30:00	06:30:00	12
27-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	06:30:00	08:30:00	12
27-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	08:30:00	06:30:00	12
28-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	06:30:00	14:00:00	7.5
28-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Trabajos de mantto. eléctrico preventivo en molino N° 1	14:00:00	08:00:00	4
28-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Problemas en la resistencia del aislamiento del estator	08:45:00	20:40:00	0.917
28-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Problemas en la resistencia del aislamiento del estator	21:27:00	01:15:00	3.8
28-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Problemas en la resistencia del aislamiento del estator	02:07:00	05:13:00	3.1
29-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Se revisó relé de supervisión de medición de aislamiento del estator (punto	14:13:00	17:12:00	2.983
30-Jul-20	MOLIENDA	3200-mi-001	Pruebas en la resistencia del aislamiento del estator	14:29:00	08:24:00	1917

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE AGOSTO							
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)	
1-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Retorqueo de pernos en Shell del molino N°1	06:30:00	18:30:00	12	
1-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Retorqueo de pernos de forros de molino	18:30:00	22:40:00	4.2	
5-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de forros de molino N°2	18:30:00	06:30:00	12	
5-Aug-20	MOLIENDA	3200-PP-002	Molino Nro.2 detenido todo el turno por cambio de forros/ Personal mec	06:30:00	18:30:00	12	
6-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de forros de Molino Nro. 2	06:30:00	18:30:00	12	
6-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de forros de Molino Nro. 2	18:30:00	06:30:00	12	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Problemas con parametros de aislamiento.	3:00:00 a. m.	3:14:00 a. m.	0.2	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Problemas con parametros de aislamiento.	4:03:00 a. m.	4:27:00 a. m.	0.4	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	MAPR - MANTENIMIENTO PREVENTIVO	6:30:00 p. m.	2:00:00 a. m.	7.5	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	MAPR - MANTENIMIENTO PREVENTIVO	7:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	11	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	06:30:00	18:30:00	12	
7-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	18:30:00	06:30:00	12	
8-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	06:30:00	18:30:00	12	
8-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	18:30:00	06:30:00	12	
9-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PFMO - PROGRAMADO CAMBIO FORROS MOLINO	06:30:00	15:30:00	9	
9-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de ventilador de ring motor	15:30:00	18:30:00	3	
9-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de ventiladores del Ringmotor	18:30:00	20:58:00	2.5	
11-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Se para molino N°2 por retorqueo de pernos, por cambio de forros.	06:30:00	18:30:00	12	
11-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Se para molino N°2 por retorqueo de pernos, por cambio de forros.	18:30:00	21:25:00	2.9	
15-Aug-20	MOLIENDA	3200-CY-001	Reparación de cajón de flotación primaria, instalación de planchas en base de	8:30:00 a. m.	5:17:00 p. m.	8.8	
23-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Falla del sistema Hidráulico de frenado.	17:46:00	18:30:00	0.7	
23-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de Válvula relief y válvula direccional en módulo hidráulico del sistem	18:30:00	01:30:00	7	
23-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Alto consumo de corriente en la secuencia de arranque del molino Nro 2	01:30:00	03:30:00	2	
23-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Problemas mecanicos por no cerrar valvula de pump box Nro 2	03:30:00	06:00:00	2.5	
23-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Alto consumo de corriente en la secuencia de arranque del molino Nro. 2	06:00:00	06:30:00	0.5	
24-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	atoro en el spider del molino por carga gruesa, mallas rotas en Zaranda Nro 2	18:37:00	19:07:00	0.5	
24-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-001	atoro en el spider del molino por carga gruesa, mallas rotas en Zaranda Nro 2	21:09:00	21:29:00	0.3	
24-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada)	06:30:00	18:30:00	12	
25-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada, s	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
25-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada, s	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
26-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada, s	6:30:00 p. m.	6:30:00 p. m.	12	
26-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada, s	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
27-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
27-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
28-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
28-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	UNHI - UNIDAD HIDRAULICA	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
29-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
29-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
30-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
30-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	
31-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12	
31-Aug-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada,	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12	

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE SEPTIEMBRE							
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)	
1-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Rectificación del spider y revisión del spout feeder	4:04:00 p. m.	6:30:00 p. m.	2.4	
1-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Se revisa sello del spout feeder, se realiza limpieza de spider de molino N°1.	6:30:00 p. m.	12:27:00 a. m.	6	
1-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-002	Molino parado por falla de sistema hidráulico de frenado (Carga congelada, s	6:30:00 a. m.	4:00:00 p. m.	9.5	
1-Sep-20	MOLIENDA	3200-pp-001	Se activo falsa señal de parada de emergencia de bomba Warman N°1	2:42:00 a. m.	2:53:00 a. m.	0.2	
4-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Se tiene un evento de detención el molino Nro. 1 por falla en el contactor.	7:00:00 p. m.	7:18:00 p. m.	0.3	
9-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Parada de molino de bolas Nro. 1 por vibración en el ring motor y se realizó aj	7:12:00 a. m.	8:02:00 a. m.	0.8	
10-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Para el molino en dos oportunidades por falla en el contactor, se procede a la	11:58:00 p. m.	6:30:00 a. m.	6.5	
20-Sep-20	MOLIENDA	3200-pp-001	Alarma de parada de emergencia de bomba warman N°1 por falsa señal de R	14:30:00 a. m.	2:04:00 a. m.	0.4	
25-Sep-20	MOLIENDA	3200-ml-001	Disturbio eléctrico durante trabajos en nueva zaranda N°3	2:44:00 p. m.	3:12:00 p. m.	0.5	

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE OCTUBRE						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
2-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PM de Planta	18:30:00	01:34:00	7.1
2-Oct-20	MOLIENDA	3200-PP-002	Mantto programado	07:36:00	18:30:00	10.9
10-Oct-20	MOLIENDA	3200-PP-001	Mantenimiento de Bomba warman N°1	10:00:00 a. m.	6:30:00 p. m.	8.5
10-Oct-20	MOLIENDA	3200-PP-001	Cambio de wet end bomba warman número 1	6:30:00 p. m.	8:00:00 p. m.	15
10-Oct-20	MOLIENDA	3200-PP-001	Se continúa con el mantto programado de la bomba warman número 1	8:00:00 p. m.	10:48:00 p. m.	2.8
14-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla eléctrica en el estator	5:48:00 p. m.	6:30:00 p. m.	0.7
14-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla de comunicación (en simultáneo se perdió varias señales del molino)	10:34:00 p. m.	10:59:00 p. m.	0.4
15-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Pérdida de varias señales en simultáneo (falla de comunicación)	6:10:00 a. m.	6:30:00 a. m.	0.3
17-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Mantto. Programado	06:30:00	18:30:00	12
17-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Mantenimiento programado.	18:30:00	06:30:00	12
18-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Mantenimiento programado	06:30:00	18:30:00	12
19-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Revisión eléctrica por parte de ABB	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
19-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Revisión eléctrica por parte de ABB.	6:30:00 p. m.	2:27:00 a. m.	8
19-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla sistema contraincendio en E-House.	6:13:00 a. m.	6:30:00 a. m.	0.3
19-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-002	PM de Planta	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
19-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Revisión eléctrica por parte de ABB.	6:30:00 p. m.	6:30:00 a. m.	12
21-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Revisión eléctrica por parte de ABB	06:30:00	18:30:00	12
21-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Mantto ventiladores estator molino 2	18:30:00	00:26:00	5.9
22-Oct-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla Sistema Contraincendios E-House.	09:41:00	10:10:00	0.3

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES NOVIEMBRE						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
7-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla de comunicación (switches/botones sueltos)	12:00 a. m.	14:50 a. m.	0.32
7-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Falla de comunicación (switches/botones sueltos)	4:08:00 a. m.	4:34:00 a. m.	0.43
9-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Parada intempestiva de bomba warman N°2 por bajo flujo de agua de sello	9:37:00 p. m.	9:49:00 p. m.	0.2
13-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-001	CONT - CONTACTOR	14:7:00 a. m.	2:06:00 a. m.	0.32
13-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Alineamiento entre eje del reductor y motor de bomba warman N°2	7:34:00 a. m.	4:08:00 p. m.	8.57
14-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Pérdida de señales : A1 circuit breaker supervisión tripp, A1 fiber optic loop sup	7:59:00 a. m.	8:21:00 a. m.	0.37
14-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-001	Se cambió soporte para evitar pérdida de señales	4:16:00 p. m.	5:25:00 p. m.	1.15
28-Nov-20	MOLIENDA	3200-ML-002	Error señal humedad, presión y flujo (lado izquierdo) sistema refrigeración G	12:25:00 p. m.	12:54:00 p. m.	0.48
28-Nov-20	MOLIENDA	3200-PP-001	Bajo flujo de aceite de lubricación del reductor de la bomba warman FS-347B	12:29:00 p. m.	1:08:00 p. m.	0.65

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE DICIEMBRE							
Fecha normalizada	Área	Línea	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
4-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-1	Chancado Terciario	Bajo nivel en pila de finos por problemas en la faja 2500-CV-005.	2:05:00 p. m.	4:14:00 p. m.	2.2
4-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	Chancado Terciario	Bajo nivel en pila de finos por problemas en la faja 2500-CV-005.	2:24:00 p. m.	5:05:00 p. m.	2.7
7-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-ML-001	Falsa alarma señal contra incendios E- HOUSE molino 1	10:50:00 p. m.	11:40:00 p. m.	0.8
11-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-2	3200-PP-002	Cambio de partes húmedas Warman 2	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
11-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-2	3200-PP-002	Cambio de partes húmedas Warman 2	6:30:00 p. m.	8:16:00 p. m.	18
12-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-1	2500-CV-002	Cambio de dos polines de retorno en faja 2500-CV-002.	10:25:00 a. m.	10:50:00 a. m.	0.4
12-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	2500-CV-002	Cambio de dos polines de retorno en faja 2500-CV-002.	10:25:00 a. m.	10:50:00 a. m.	0.4
16-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-2	3200-ML-002	Error en la señal de temperatura alta en el estator	5:09:00 p. m.	5:23:00 p. m.	0.2
16-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-1	Relaves	Atoro en líneas ubicadas en el cajón distribuidor de relaves.	8:30:00 a. m.	4:34:00 p. m.	8.1
16-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	Relaves	Atoro en líneas ubicadas en el cajón distribuidor de relaves.	8:30:00 a. m.	4:07:00 p. m.	7.6
18-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-ML-001	Parada de Planta por mantenimiento programado.	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
18-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-ML-001	Parada de Planta por mantenimiento programado.	6:30:00 p. m.	11:12:00 p. m.	4.7
18-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-ML-001	Falla trip bomba 3200-PP-11A sistema lubricación molino N°1	2:16:00 a. m.	3:09:00 a. m.	0.9
18-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-ML-001	Falla trip bomba 3200-PP-11A sistema lubricación molino N°1	4:07:00 a. m.	6:30:00 a. m.	2.4
18-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	Chancado Secundario	Parada de Planta por mantto programado (rep. En caliente Faja 2300-CV-	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
18-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	Chancado Secundario	Parada de Planta por mantto programado (rep. En caliente Faja 2300-CV-	6:30:00 p. m.	9:10:00 p. m.	2.7
18-Dec-20	REMOLIENDA	Molino Vertimil-2	Molino Vertimil-2	Parada de Planta por mantenimiento programado.	2:00:00 p. m.	6:30:00 p. m.	4.5
18-Dec-20	REMOLIENDA	Molino Vertimil-2	Molino Vertimil-2	Parada de Planta por mantenimiento programado.	6:30:00 p. m.	8:24:00 p. m.	1.9
22-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-1	2500-CV-002	Cambio faldón faja 2500-CV-01y cambio de 2 polines retorno en faja 250	10:11:00 a. m.	10:40:00 a. m.	0.5
22-Dec-20	PLANTA	Molino Bolas-2	2500-CV-002	Cambio faldón faja 2500-CV-01y cambio de 2 polines retorno en faja 250	10:11:00 a. m.	10:40:00 a. m.	0.5
23-Dec-20	MOLIENDA	Molino Bolas-1	3200-PP-001	Falla general ventilador exterior motor bomba warman N°1(3200-PP-001	3:23:00 p. m.	3:32:00 p. m.	0.2

Anexo 7: Reportes del área de mantenimiento después de la mejora

PARADAS POR MANTENIMIENTO PROGRAMADO DEL MES DE ENERO				
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Duración
2-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Fuente de control de energía de 24 V danada	125
3-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Reparación de tubería del U/F por hueco enorme producido y cambio de mallas Zarandas 1y 2.	5.67
5-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Se detiene warman N°1 por vibración alta (VT_348-A).	0.25
6-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Bomba warman número 1 paró por sensor de vibración.	0.83
7-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Reparación línea de ingreso de pulpa al spout feeder	0.3
7-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Reparación línea de ingreso de pulpa al spout feeder	5
11-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Cambio de sellos en prensaestopa de Warman Nro 1	0.75
11-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Carga acumulada en inmediaciones de línea de drenaje de Pump Box Nro 1y piso de Warman Nro 1 Continúa	103
11-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Parada de Línea de Molienda Nro 1 por fuga de pulpa en prensaestopa.	12
12-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Parada por activación de señal de enclavamiento del motor del molino	2.02
12-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Cambio de sellos en prensaestopa de Warman Nro 1	18
14-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Inspección y mantenimiento de carbones, reparación del cajón relaves.	9.8
14-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Inspección de prensaestopa warman, inspección y mantenimiento de carbones, medición de nivel de bolas y fo	9.7
19-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Alarma de fuga de refrigerante del ciclo convertidor (HVAC2)	12
24-Ene-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Molino 1 paró intempestivamente por falla de contactor (pérdida de energía)	0.7
30-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-001	Temperatura alta bomba de lubricación warman número 1	0.5
30-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-002	Mantenimiento wet end bomba warman número 2	12
31-Ene-21	MOLIENDA	3200-PP-002	Mantenimiento en warman 2	2.9

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE FEBRERO				
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Duración (Horas)
4-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Planta parada por mantenimiento programado.	10.5
4-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Mantto. programado	12
4-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Planta parada por mantenimiento programado.	12
5-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Parada de planta por mantenimiento programado	10
9-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla de Red IEC 61850	0.4
26-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla eléctrica en puente de conexión, problemas en estator de molino	12
26-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla eléctrica en puente de conexión, problemas en estator de molino	116
27-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla eléctrica en puente de conexión, problemas en estator del molino	12
27-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla del sistema de bobinado en la fase U del ring del motor.	12
28-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla de un puente de conexionado de fase 1 en estator	12
28-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Trabajos de electricidad en el arco superior del bobinado.	12
29-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla de un puente de conexionado de fase 1 en estator	6.7
29-Feb-21	MOLIENDA	3200-ML-001	CONTACTOR	0.4

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE MARZO						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
5-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Mantto. preventivo de Planta	6:00:00 a. m.	6:30:00 a. m.	0.5
5-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Mantto. preventivo de Planta	6:00:00 a. m.	6:30:00 a. m.	0.5
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Mantto. preventivo	18:30:00	22:00:00	3.5
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Alta temperatura en TE-1108	00:48:00	0:14:00	0.9
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Reparaciones en planta programadas.	06:30:00	17:38:00	11.1
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Mantto. preventivo	18:30:00	22:00:00	3.5
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Alta temperatura en TE-1108	00:48:00	0:14:00	0.9
6-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Parada de planta por reparaciones programadas.	06:30:00	18:30:00	12
7-Mar-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Cambio de polines en faja 2500-2	23:00:00	23:30:00	0.5

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE ABRIL						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
1-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	se reparo fuga de carga por cajón de descarga de molino N°1	8:28:00 a. m.	2:35:00 p. m.	6.1
2-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	CONT - CONTACTOR	5:45:00 a. m.	6:20:00 a. m.	0.6
3-Apr-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Falla de ventilador N y B.	10:39:00 p. m.	12:30:00 a. m.	1.9
4-Apr-21	MOLIENDA	3200-pp-002	PM de línea 2	6:30:00 a. m.	6:30:00 a. m.	1
5-Apr-21	MOLIENDA	3200-pp-002	PM de línea 2	6:30:00 p. m.	8:37:00 p. m.	2.1
5-Apr-21	MOLIENDA	3200-pp-002	Mantto programado bomba warman, zarandas 3 y 4.	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
6-Apr-21	MOLIENDA	3200-pp-002	Sobre carga bomba warman número 2	5:05:00 p. m.	6:20:00 p. m.	1.3
23-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Se corta carga a molino número 1 por mantto. programado.	6:00:00 a. m.	6:30:00 a. m.	0.5
24-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	PM de Planta	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
24-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Cajón de remolienda 3400-DB-001atorado	10:00:00 p. m.	12:30:00 a. m.	2.5
24-Apr-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Cambiar línea de agua de sello al spout feeder	12:30:00 a. m.	3:02:00 a. m.	2.5
24-Apr-21	MOLIENDA	3200-ML-002	PM de Planta	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
24-Apr-21	MOLIENDA	3200-ML-002	Cajón de remolienda 3400-DB-001atorado	8:50:00 p. m.	12:41:00 a. m.	3.9

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE MAYO						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
1-May-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Sensores de humedad, presión y temperatura en mala calidad.	3:33:00 p. m.	4:05:00 p. m.	0.5
8-May-21	MOLIENDA	3200-pp-001	Cambio de bomba warman N°1	6:30:00 a. m.	6:30:00 p. m.	12
13-May-21	MOLIENDA	3200-ML-001	Falla contactor molino 1	12:20:00 p. m.	12:20:00 p. m.	1
19-May-21	MOLIENDA	3200-mi-002	Falla en la lógica de conmutación de arranque de bombas IC sistema de lubric	14:20:00 a. m.	5:00:00 a. m.	3.3

PARADAS POR MANTENIMIENTO DEL MES DE JUNIO						
Fecha normalizada	Área	Equipo	Comentario	Hora inicio	Hora fin	Duración (Horas)
4-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Falla de comunicación del PEC con el controlador del DCS	2:45:00 a. m.	3:20:00 a. m.	1.1
4-Jun-21	MOLIENDA	3200-pp-002	Wetend Bba. Warman N°2	8:45:00 a. m.	4:45:00 p. m.	8
4-Jun-21	MOLIENDA	3200-pp-002	Wetend Bba. Warman N°2	6:30:00 p. m.	10:00:00 p. m.	3.5
9-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Reparación de spider	6:30:00 a. m.	5:30:00 p. m.	11
17-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Parchar hueco en línea de alimentación molino 1	14:45:00	15:05:00	0.83
18-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Rotación de tubería alimentación molino 1	07:55:00	18:30:00	10.58
18-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Rotación de tubería alimentación molino N°1	18:30:00	20:49:00	2.32
24-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Fuga de carga por perno primera fila después del estator. Se repara fuga po	08:37:00	18:30:00	9.9
24-Jun-21	MOLIENDA	3200-mi-001	Ajuste de pemos molino número 1	18:30:00	20:40:00	2.2

Anexo 8: Procedimiento escrito de trabajo seguro

PEIS				ACUMULACIÓN TOQUEPALA	
CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS					
Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:	Molienda		Versión:
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página	1 de 9

Preparado Por:	Preparado Por:	Revisado Por:	Revisado Por:	Aprobado Por:
Eder Paripaza Justo	Jefe Taller: Billy Estrada	Superintendente de Mantenimiento Planta: Walter Cargio	Gerente de Seguridad e Higiene Minera: Jorge Medina Rodríguez	Gerente de Mantenimiento: Javier Pozo Olivera
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:

RIESGOS ASOCIADOS

- NEO
- CAÍDA
- MOVIMIENTO
- OBJETO EN MOVIMIENTO
- CONTAMINACIÓN
- EXPOSICIÓN A RUIDOS
- PLANTAMIENTO
- CONTAMINACIÓN
- GRUPO
- RESQUEBRA

MANTENIMIENTO MECÁNICO

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

DURACIÓN	
CANT. PERSONAL	
FRECUENCIA	

CASCO DE SEGURIDAD (OBLIGATORIO)
 LENTES DE SEGURIDAD
 PROTECTOR AUDITAL
 RESPIRADOR (OBLIGATORIO)
 GUANTES DE CUERO
 GUANTES DE NITRIL
 CALZADO DE SEGURIDAD
 ROPA DE TRABAJO
 GUANTES DE ALGODÓN
 TRAJE PARA SOLDAR
 MÁSCARA DE SOLDAR
 GAFAS DE SOLDAR
 GUANTES DE SOLDAR

MNT-MCO-PETS-67-MMO-04 Rev A

	PETD			ACUMULACIÓN TOQUEPALA	
	CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS				
	Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:		Molienda
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página:	1 de 9

<p>1. PERSONAL:</p> <p>1.1 Supervisor (01).</p> <p>1.2 Mecánico líder (02).</p> <p>1.3 Mecánico (04).</p> <p>1.4 Operador de enlaineros (01).</p> <p>1.5 Operador de montacargas (01).</p> <p>1.6 Operador de puente grús (01).</p> <p>1.7 Rigger (01).</p> <p>1.8 Soldador (01).</p> <p>1.9 Vigía de espacio confinado (01).</p> <p>1.10 Vigía de trabajo en caliente (01).</p> <p>2. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:</p> <p>2.1 Casco de seguridad.</p> <p>2.2 Lentes de seguridad.</p> <p>2.3 Protector auditivo.</p> <p>2.4 Respirador antigases.</p> <p>2.5 Guantes de cuero.</p> <p>2.6 Guantes de jebe.</p> <p>2.7 Rope de trabajo.</p> <p>2.8 Chaleco de seguridad.</p> <p>2.9 Mameluco descartable.</p> <p>2.10 Traje para soldar.</p> <p>2.11 Arnes y línea de vida.</p> <p>2.12 Zapatos de seguridad.</p> <p>3. EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES / REPUESTOS:</p> <p>3.1 Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Puente grús de 25 t (01). - Enlaineros RME (01). - Disco corte-desbaste (01). - Esmeril de mano (01). - Martillo hidráulico RME (Thunderbolt) (01). - Jib crane (02). - Montacarga de 3 t (01). - Máquina de soldar (01). - Equipo oxiflame (01). - Equipo oxicorte (01). 	<ul style="list-style-type: none"> - Guía para los botadores de pernos (02). - Plataforma de acceso al interior de molino (01). - Detector de gases (01). - Manifold con 4 salidas de aire (01). - Luminarias (04). - Escalera retráctil (01). - Extintor (02). - Radio portátil (04). <p>3.2 Herramientas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caja de herramientas mecánicas (01). - Pistola de impacto neumática 1 1/2 pulg (04). - Dado tubular para impacto de 3 1/4 pulg con encastre de 1 1/2 pulg (04). - Seguro para dedos (04). - Llave de golpe de 24 pulg (02). - Comba de 8 lb (01). - Comba de 16 lb (01). - Escobilla metálica (02). - Nylon de 1/4 pulg x 10 m (02). - Tacos de madera (04). - Cadena de 2 brazos / ganchos con argolla (01). - Barreta de 1.5 m (02). - Barreta de 0.8 m (02). - Grilletes de 1 pulg (04). - Estingas de 3 pulg x 2 m x 3 capas (03). <p>3.3 Materiales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cono de seguridad (08). - Cinta para señalar el área de trabajo (04). - Trapo industrial x saco 20 kg (01). - Desengrasante ecológico x 5 gal (01). - Anti-adherente (10). - Afojatado (10). - Pintura en spray (04). <p>3.4 Repuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - DE head liner inlet. - FE DE head liner outlet. - FE head liner inlet. - FE Shell liner. - DE Shell liner. - Middle Shell liner. 	<ul style="list-style-type: none"> - FE cone liner. - FE DE filler ring. - Separador de goma en "Y". - Pernos de 2 pulg x 4.5UNC x 40H x 235L (432). - Pernos de 2 pulg x 4.5UNC x 40H x 235L (144). - Pernos de 2 pulg x 4.5UNC x 40H x 320L (240). - Pernos de 2 pulg x 4.5UNC x 40H x 200L (32). - Arandelas de goma 2" x 4.5UNC (200). - Arandelas de copes 2" x 4.5UNC (200). - Tuercas hexagonales 2" x 4.5UNC (200). <p>4. PROCEDIMIENTO:</p> <p>Todos:</p> <p>4.1 Actividad previa al trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Realizar la charla de seguridad de 05 minutos con el personal que participa revisando el procedimiento en función a las tareas de mantenimiento a realizar. - Coordinar con supervisión las acciones de respuesta ante emergencia (terremoto, explosión, incendios, accidentes, etc.). - Usar EPP correspondiente y verificar que los extintores se encuentren en buen estado. - Revisar el IPERC base en el área de trabajo antes de empezar el procedimiento; de identificar otros peligros no registrados en el formato, evaluar los riesgos y establecer las medidas de control a través del IPERC continuo. - Inspeccionar y verificar que los equipos, herramientas, materiales y repuestos no se encuentren en condiciones sub estándar; de encontrarse, cambiar y reportar inmediatamente a la supervisión. <p>4.2 Cumplir con el estándar de "bloqueo y etiquetado" (esto permite que los equipos se encuentren sin energía eléctrica, asimismo otros tipos de energía mecánica, hidráulica, neumática, térmica, radiactiva de ser el caso).</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MNT-MCO-PETS-67-MMO-04 BMS

	PETS			ACUMULACIÓN TOQUEPALA
	CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS			
	Gerencia: Mantenimiento Toquepala	Taller: Molienda	Versión: < A >	
Código: MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha: 11 de Enero del 2021	Página: 3 de 9		

- 4.3 Aislar con cintas y/o conos el área de trabajo y colocar avisos en los accesos o entradas.
- 4.4 Realizar de manera coordinada la gestión de las tareas de mantenimiento entre el mecánico líder y el supervisor.
 - Coordinar con el supervisor del área afectada, así como el operador de campo y el panelista de sala de control, antes de iniciar el procedimiento para el bloqueo de la bomba de alimentación de hidrocloruros, faja de alimentación a bolas, válvulas de alimentación de agua, lechada de cal y reactivos. Además de las líneas eléctricas, frenos y sistema de lubricación del molino de bolas.
- 4.5 Coordinar la disposición, vías de tránsito, lugares temporales de almacenamiento de los equipos de apoyo montacargas, enlaminadora, martillos.
- 4.6 Considerar los permisos obligatorios para trabajo seguro como:
 - Espacios confinados.
 - Trabajos en caliente.
 - Trabajos en altura.
- 4.7 Verificar la iluminación del sector, debe ser óptima para desarrollar las actividades de mantenimiento, caso contrario acondicionar luminarias o reflectores, para evitar fatiga visual.

A. CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO:

- 4.8 Trasladar todos los liners, pernos, etc. que estén en buen estado al patio de molienda, según estrategia de instalación y plan de izaje de acuerdo con el peso del liner, con el uso de grilletes de 1 pulg y estingas de 3 pulg x 2 m x 3 capas, ver Tabla N° 1.

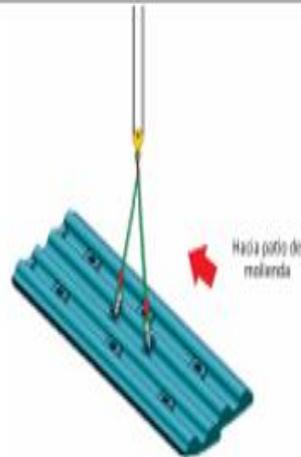


Figura N° 1 Traslado de liners al patio de molienda

A.1. RETIRO DE CAJÓN DE ALIMENTACIÓN (SPOUT FEEDER):

NOTA: Verificar el bloqueo de todas las válvulas de alimentación de agua, cal y equipos aguas arriba y aguas abajo.

- 4.9 Instalar una escalera debajo de la tubería de alimentación, desmontar los pernos de la brida superior del chute de alimentación con pistola y dado de impacto de **xx pulg.**

NOTA: El acceso a la parte superior del chute se realiza con una plataforma móvil (escalera), y en todo momento el mecánico debe estar enganchado con la línea de vida instalada.

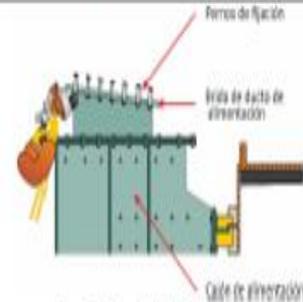


Figura N° 1 Retiro del cajón de alimentación

- 4.10 Retirar los pines de fijación del chute de alimentación al piso y cualquier otro elemento retenedor de las ruedas del chute móvil.

NOTA: Se debe verificar la limpieza de todo el carril de desplazamiento, sultura de riel, carga acumulada.

- 4.11 Retirar los pernos de fijación del ducto de alimentación del molino con pistola neumática y dado.

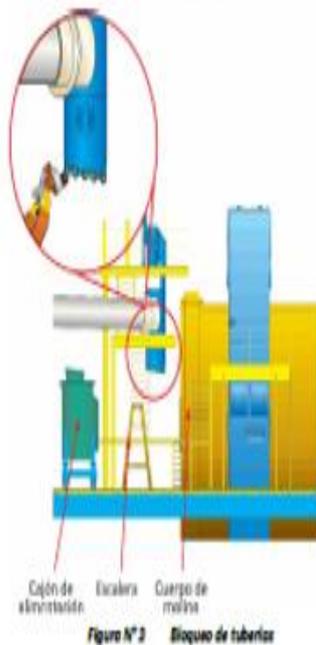


Figura N° 2 Retiro de brida de alimentación

- 4.12 Con el chute libre, empujarlo hacia la parte posterior del patio de molienda con la ayuda del montacargas, unido mediante un estrobo y un

grillete, a través de sus rieles. Posicionar tacos de madera y activar el seguro de las ruedas para delimitar su movimiento.

- 4.13 Bloquear mecánicamente la tubería de transferencia de descarga al chute móvil de alimentación del molino de bolas, instalando una brida ómega con pernos de **MOX** utilizando pistola y dedo de impacto de xx pulg. Previene la amenaza de caída de material sobrante y/o apelmazante.

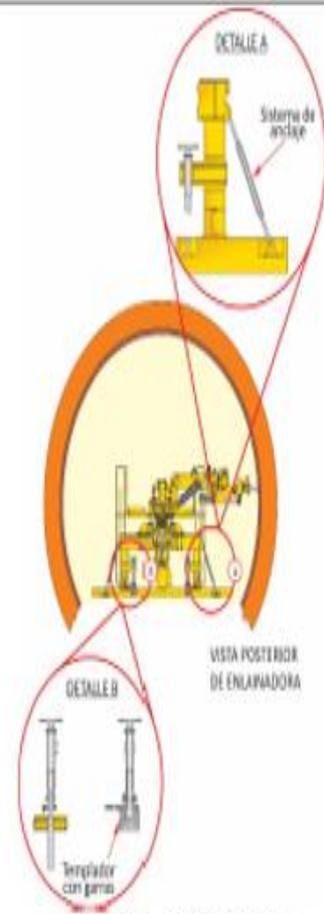


- 4.14 Con escalera instalada a los costados del chute de alimentación, retirar los pernos del sello dejando 2 pernos aún sujetos.
- 4.15 Posicionar el montacargas de 3 t con las uñas pegadas al sello para sostenerlo, terminar de soltar los pernos y extraer el sello, también se puede hacer uso del puente grúa con eslingas y grilletes para sostenerlo y desplegarlo.



A.2. POSICIONAMIENTO DE ENLAINADORA:

- 4.16 Encender la enlainadora verificando que no haya fugas de aceite y los ejes de movimiento del carro funcionen sin problemas, hacer el check list pre-operacional.
- 4.17 Conectar el equipo a una fuente de energía de 460 V.
- 4.18 Desplazar lentamente el equipo y posicionario perpendicularmente al trunco del molino, acercarse lentamente hasta que la pluma de montaje y la cabina se encuentren dentro.
- 4.19 Fijar la enlainadora con pines y argollas al piso de molinera, impidiendo su movimiento.



NOTA: Monitorear las condiciones de gases y humedad dentro del molino.

ADVERTENCIA: Ingresar al molino una vez que la condición de gases sea adecuada.

Para casos que los valores excedan lo permisible y/o arroje bajo porcentaje de oxígeno (menor 19.5%), prohibir el ingreso al interior del molino.

- 4.20 Instalar luminarias dentro del molino, teniendo en cuenta la movilidad de la enlainadora.

Gerencia: Mantenimiento Toquepala	Taller: Molienda	Versión: < A >
Código: MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha: 11 de Enero del 2021	Página 5 de 9



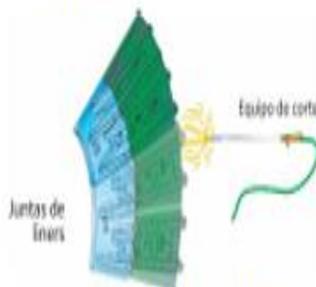
Enlazador

Figura N° 2 Posicionamiento de enlazadores

A.3. PREPARACIÓN:

NOTA: Si se requiere escanear el molino antes de realizar el cambio de liners, tener cuidado ya que para ello se requiere un nivel muy bajo de cama del molino y eso podría dificultar la tarea de cambio de liners.

- 4.21 Asegurar que la cama del molino este por debajo de 1 m del cuello de alimentación.
- 4.22 Levantar el interior del molino para asegurar el desprendimiento de bolas y materiales que estén atrapados en los liners, con la finalidad que no caigan sobre la cabeza de algún mecánico.



Juntas de liners

Figura N° 3 Lavado del molino

- 4.23 Desaguar el molino nuevamente.

4.24 Estando en el interior del molino se indicará cuántos y qué liners del lado izquierdo y derecho del Shell se retirarán.



Fe cone liner

Fe & pc liner ring

Fe head liner inner

Fe & pc liner star



Fe shell liner

Middle shell liner

De shell liner

De head liner inner

Figura N° 4 Corte de liners

NOTA: En caso sea muy difícil retirar las bolas incrustadas; el soldador, con el equipo oxiacorte, debe entrar y cortar la bolas y juntas del liner para liberar la presión entre ellos.

NOTA: La posición para retirar los liners es como máximo 4 filas del lado izquierdo y derecho. Nunca retirar de la parte superior.

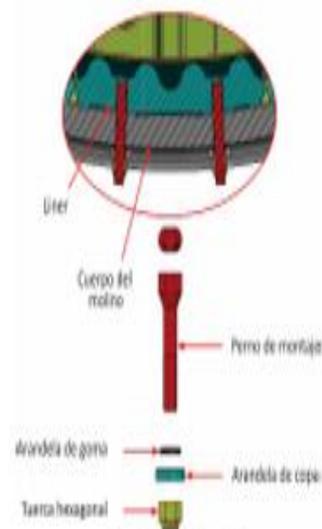
A.4. CONTROL DE CALIDAD DE LINERS:

- 4.25 Con la ayuda de reflectores al interior del molino de bolas, se debe verificar la presencia de discontinuidades en los liners, fisuras, defectos de colocación que puedan causar fallos futuros.

4.26 Hacer un control dimensional de los liners midiendo la distancia entre agujeros, diámetro de agujeros, agujeros sin resaltes que impidan el paso libre el perno. Verificar la distancia y diámetro de agujeros de las orejeras.

NOTA: Si se requiere escanear el molino antes de realizar el cambio de liners, tener cuidado ya que para ello se requiere un nivel muy bajo de cama del molino y eso podría dificultar la tarea de cambio de liners.

DETALLE INSTALACIÓN DE PERNOS



Liner

Cuerpo del molino

Perno de montaje

Arandela de goma

Arandela de copa

Tuerca hexagonal

Figura N° 5 Tipo de liners

A.5. RETIRO DE LINERS:

- 4.27 Identificar externamente, tanto en el lado izquierdo como el derecho, los pernos de sujeción de los liners a cambiar.
- 4.28 Desde la parte exterior retirar con una llave de golpe o pistolas con dados de impacto de 3 1/2 pulg las tuercas y arandelas de los pernos seleccionados. Los mecánicos deben contar siempre con su arnés y línea de vida.

Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:	Molienda	Versión:	< A >
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página:	6 de 9

NOTA: En caso de que la tuerca se encuentre aprietada o en caso que las condiciones del área no permitan trabajar con llave neumática en el sector, efectuar corte con equipo de oxicorte.

- 4.29 Colocar una manta de lona dentro del molino sobre la cama de bolas y otro al ingreso del molino, con la finalidad de que los pernos al momento de sacarlos no salgan disparados fuera del molino.
- 4.30 Botar los pernos liberados con el uso del Thunderbolt, es necesario el uso de centradores guías (herramienta opcional) para mantener la punta redonda del martillo sobre el perno y no malograr el casco del molino.

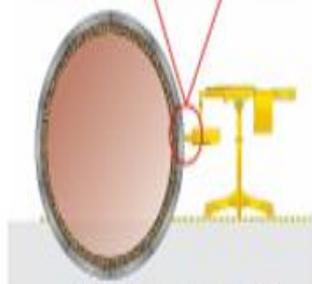
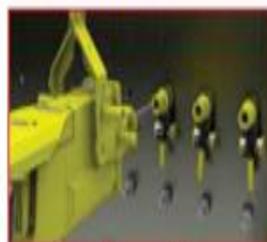


Figura N° 6 Demontaje de pernos

ADVERTENCIA: Ningún trabajador debe estar al interior del molino durante esta operación porque los pernos salen disparados, pudiendo impactar al trabajador.

- 4.31 Revisar que todos los liners liberados hayan caído, de lo contrario asegurarlos nuevamente con pernos desde la parte exterior.
- 4.32 Usar el equipo oxiflame desde la parte interior del molino para cortar los liners que no hayan sido liberados.

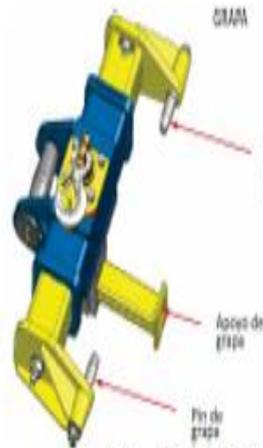


Figura N° 7 Grapa de entintadora

- 4.33 Ingresar al molino y proceder a estrobar, colocar tijeras o ganchos en los agujeros del liner y el otro extremo de la herramienta de extracción colocarlo en el gancho de la grapa de la entintadora.

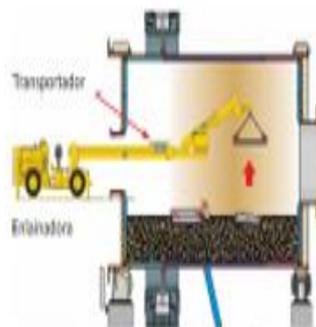


Figura N° 8 Membra de sujeción liners

- 4.34 Posicionar el liner lentamente sobre la pánhuela o palet del carro transportador de la entintadora.
- 4.35 Retirar las cadenas y herramientas usadas en la sujeción.
- 4.36 Activar el carro transportador para retirar el liner del interior del molino, donde las lanzas de un montacarga lo cogerá y llevará hacia la zona de componentes o donde se haya asignado su posición temporal.

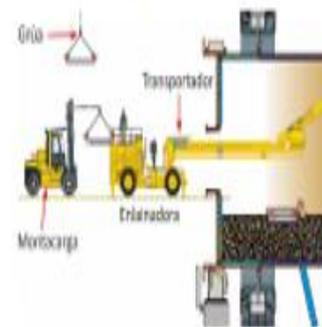


Figura N° 9 Retiro de liners

- 4.37 Seguir el mismo procedimiento hasta retirar todos los liners observados.
- 4.38 Retirar tuercas, arandelas y pernos que hayan sido desprendidos y estén al interior del molino, llevándolos a los botaderos o recipientes designados.

A.6. MONTAJE DE LINERS:

- 4.39 Lavar y limpiar el área donde se instalarán los nuevos liners, inspeccionar el estado de las paredes.
- 4.40 Verificar el estado de los filter rings que han sido expuestos, para proceder con su cambio.

CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS

Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:	Molienda	Versión:	< A >
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página:	7 de 9

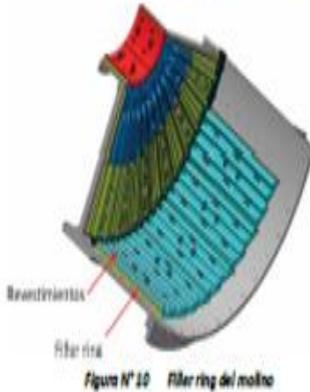


Figura N° 10 Filler ring del molino

ADVERTENCIA: El uso del pegamento (cemento vulcanizante, otros) requiere la utilización de respiradores para gases.

4.41 Limpiar los agujeros de los pernos con escobillas de acero para que al momento del montaje puedan pasar fácilmente.

NOTA: Si los pernos no están limpios se puede deteriorar más fácilmente el hilo o producir un falso apriete.

NOTA: La secuencia de montaje de los liners es: Primero el liner de alimentación, luego el de descarga y finalmente los 3 medios Middle Shell, de tal forma que se completa una fila. El montaje de los liners se realizará de manera alternada entre el lado norte y el lado sur del cilindro (izquierdo y derecho).

NOTA: Se debe dejar una línea de liner libre antes de girar el molino, con la finalidad de facilitar la caída de los siguientes liner.

4.42 Trasladar el nuevo liner hacia la parihuela del carro transportador de la enlainadora con el apoyo del montacargas o el polipasto.

4.43 Activar el carro transportador para ingresar el liner dentro del molino.

4.44 Insertar los 2 pines de la grapa de la enlainadora en las 2 orejas de manipulación que tienen los liners.

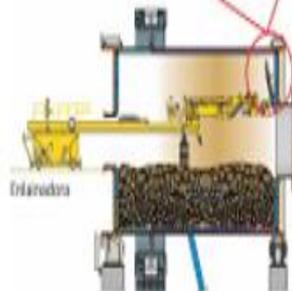
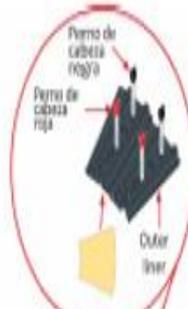


Figura N° 11 Montaje de liners

4.45 Posicionar los agujeros del liner con los agujeros de la corza (Shell).

4.46 Insertar los pernos a través de los agujeros, hasta que salgan por el lado opuesto.

4.47 El personal ubicado en la parte externa del molino, debe asegurar el perno colocando sus arandelas y enroscando su tuerca.

ADVERTENCIA: Usar permanentemente guantes y estar atentos a las maniobras para evitar apriamientos.

4.48 Ajustar las tuercas con la pistola y dedo de impacto de 3/8 pulg, hasta lograr el torque requerido, en caso se requiera, sujetar la pistola con el uso del Jib Crane.

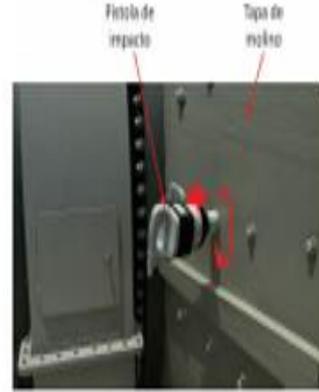


Figura N° 12 Ajuste de pernos

4.49 Re-torquear con un equipo hytorq con el torque específico aproximadamente de 4,220 Nm.

4.50 Marcar los pernos re-torqueados con pintura spray a manera de controlar los pernos con respriete, en el caso de tratarse de un perno con algún tipo de desperfecto que impida el respriete, proceder a pintar de rojo.

A.7. GIRO DEL MOLINO:

4.51 Rebrar herramientas al interior del molino.

4.52 El operador de enlainadora se coloca en posición central para no ser impactado por las bolas.

4.53 Coordinar el desbloqueo retirando candados de seguridad, además se comunica a personal eléctrico para el giro.

4.54 Indicar la posición de detención al personal electricista.

4.55 Coordinar nuevamente el bloqueo del molino con personal eléctrico y mecánico.

4.56 Seguir los mismos pasos de retiro y montaje hasta completar el cambio total de liners.

Gerencia:	Mantenimiento Toquepala	Taller:	Molienda	Versión:	< A >
Código:	MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha:	11 de Enero del 2021	Página:	8 de 9

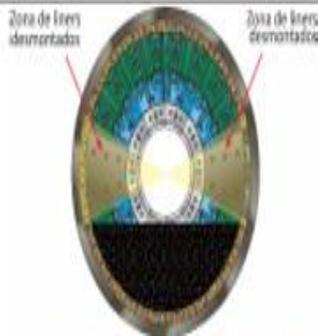


Figura N° 13 Zona de cambio para cada giro

A.8. RETIRO DE MÁQUINA ENLAINADORA:

- 4.57 El operador de enlainadora debe retraer el brazo (pluma) del equipo.
- 4.58 Retirar pines de andaje del piso y desplazarlo hasta el lugar asignado en planta.

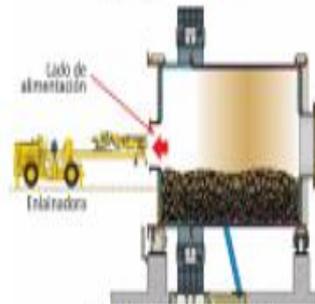


Figura N° 14 Retiro de enlainadora

A.9. MONTAJE DE CAJA DE ALIMENTACIÓN:

- 4.59 Con el montacargas, el operador debe sujetar el sello con las uñas y llevarlo hacia el molino.
- 4.60 Aproximar el sello a la brida de montaje y colocar los pernos para su sujeción.
- 4.61 Retirar los pines de fijación del chute de alimentación al piso y cualquier otro elemento retenedor de las ruedas del chute móvil.
- 4.62 Empujar el chute de alimentación hacia el molino de bolas y fijarlos a su posición.

- 4.63 Retirar la brida ciega instalada en la tubería de alimentación del cajón con ayuda de una escalera. Retirar la escalera.
- 4.64 Aproximar la caja de alimentación con ayuda del montacargas, alinear los pines de fijación e instalar los elementos de retención del chute.
- 4.65 Empernar las bridas de la tubería de la alimentación al cajón con pistolas neumáticas.

Todos:

- 4.66 Realizar orden y limpieza del área de trabajo al finalizar el procedimiento.
- 4.67 Retirar todos los residuos generados durante el procedimiento y segregarlos en los depósitos correspondientes para gestionar su disposición final.
- 4.68 Segregar correctamente los residuos.
- 4.69 Colocar las herramientas usadas en su lugar para futuros trabajos.

Supervisor:

- 4.70 Reportar al supervisor la culminación del procedimiento.
- 4.71 Registrar las actividades realizadas durante el procedimiento en el Libro Diario de cambio de guardia.
- 4.72 Notificar en SAP la culminación del procedimiento.
- 4.73 Guardar todos los formatos de seguridad generados para el procedimiento: IPERC, ATS, PETAR, Inspección de escaleras, Inspección de camiones y grúas, etc.

5. RESTRICCIONES:

- 5.1 No iniciar las tareas de mantenimiento de no haberse revisado el IPERC continuo, PETS y haber realizado la charla de seguridad.

- 5.2 No realizar las tareas de mantenimiento bajo los efectos del alcohol, drogas, señal de cansancio o sospecha de pérdida de concentración.
- 5.3 No realizar las tareas de mantenimiento si se ha identificado un riesgo NO ACEPTABLE en el IPERC continuo.
- 5.4 No realizar las tareas de mantenimiento sin antes haber realizado y verificado el bloqueo y etiquetado para liberación de energía y/o presiones.
- 5.5 No realizar las tareas de mantenimiento sin antes tener conocimiento de las instrucciones de supervisión y de las recomendaciones dejadas por el turno anterior.
- 5.6 No realizar las tareas de mantenimiento sin antes comprobar que los equipos, herramientas, materiales y repuestos se encuentren en buenas condiciones.
- 5.7 No iniciar las tareas de mantenimiento sin antes comprobar que todos usen y tengan los EPP's adecuados y en buenas condiciones para la tarea a realizar.
- 5.8 No iniciar las tareas de mantenimiento sin antes aislar con cintas y/o conos el área de trabajo y colocar avisos en los accesos o entradas.

6. ANEXOS:

6.1 Anexo 1: Pesos de liners

DESCRIPCIÓN	PESO (kg)
DE head liner inner	792
DE shell liner inner	1,716
Middle shell liner	1,906
FE Shell liner	2,075
FE Milling ring	176
FE-DE head liner outer	766
FE head liner inlet	921
FE cone liner	568

Figura N° 15 Pesos de los liners del molino

	PET 13 CAMBIO DE REVESTIMIENTOS DEL MOLINO DE BOLAS			ACUMULACIÓN TOQUEPALA
	Gerencia: Mantenimiento Toquepala	Taller: Molienda	Versión: < A >	
	Código: MNT-MCO-PETS-67-MMO	Fecha: 11 de Enero del 2021	Página: 9 de 9	

6.2 Anexo N° 2: Ruta de izaje

