

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Tesis

**Implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas
en el mantenimiento productivo total en el molino de
bolas del área de molienda de una planta concentradora
de cobre en la ciudad de Arequipa 2019**

Roberto Norbil Aguilar Bustamante

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Agradezco al gran arquitecto del universo por brindarme la vida y darme la oportunidad por hacer realidad mis metas.

A mi adorada familia, mi esposa, mis hijos y a mi madre por su paciencia y apoyo moral.

Agradecimiento a la Universidad Continental, a mis asesores de la Escuela de Ingeniería Industrial quienes fueron mis guías durante el tiempo de la elaboración de la tesis.

Agradecimiento a mis colegas de grupo que con mucho esfuerzo y trabajo en equipo logramos el cumplimiento de nuestras metas.

A Dios porque me dio el don de la perseverancia, a mi amada esposa Milady, con mucho cariño a mis hijos Rollyn y Laila porque son mi motor y mi mayor inspiración, a mi Madre Angélica que me dio la vida, a mi Padre que desde lo alto del cielo guía mis pasos y a todos mis seres queridos que siempre estuvieron motivándome para cumplir mis anhelados sueños.

ÍNDICE

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Título de la investigación.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Formulación del problema	3
1.3.1 Problema general.....	3
1.3.2 Problemas específicos	3
1.4 Objetivos de la investigación.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Justificación e importancia de la investigación	4
1.5.1 Justificación.....	4
1.5.2 Importancia de la investigación.....	4
1.6 Delimitación de la investigación.....	4
1.6.1 Delimitación espacial	4
1.6.2 Delimitación temporal.....	4
1.6.3 Delimitación social.....	5
1.6.4 Delimitación conceptual.....	5
1.7 Viabilidad de la investigación.....	5
1.8 Hipótesis de la investigación	5
1.9 Variables e indicadores	5
1.9.1 Variable independiente.....	5
1.9.2 Variable dependiente.....	5
1.9.2.1 Operacionalización de variables.....	5
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes de la investigación.....	7

2.2	Bases teóricas.....	9
2.2.1	Mantenimiento	9
2.2.2	Mantenimiento Productivo Total (TPM).....	10
2.2.3	Pilares del TPM.....	10
2.2.4	Desperdicios del TPM.....	11
2.2.5	Fallos	12
2.2.7	Mejora continua.....	14
2.2.8	Criticidad de equipos.....	14
2.2.9	Confiabilidad.....	15
2.2.10	Disponibilidad	15
2.2.11	Costo.....	15
2.2.12	Vida útil de un equipo	16
2.2.13	Ahorro.....	16
2.2.14	Ciclo de Deming.....	17
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		19
3.1	Método y alcance de la investigación	19
3.2	Diseño de la investigación	19
3.3	Población y muestra.....	20
3.3.1	Población.....	20
3.3.2	Muestra.....	20
3.4	Recolección de datos	20
3.4.1	Técnicas.....	20
3.4.2	Instrumentos	21
CAPÍTULO IV DIAGNÓSTICO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN		22
4.1	Diagnóstico situacional.....	22
4.1.1	Descripción de la empresa.....	22
4.1.2	Proceso productivo	22
4.1.3	Diagrama de flujo del proceso productivo	26
4.1.4	Diagrama de análisis del proceso productivo.....	26
4.1.5	Molino de bolas – concentradora 2	28

4.1.6	Identificación de desperdicios	29
4.2	Desperdicio 1: Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga (chute). 30	
4.2.1	Descripción del desperdicio	30
4.2.2	Análisis del desgaste de las tapas	34
4.3	Desperdicio 2: Desperdicio de pulpa	36
4.3.1	Descripción del desperdicio	36
4.3.2	Identificación de las causas	42
4.3.3	Selección de la mejora.....	42
CAPÍTULO V DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS.....		43
5.1	Desperdicio 1: Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga (chute). 43	
5.1.1	Planear	43
A.	Identificación de las causas.....	43
B.	Selección de alternativa propuesta.....	44
5.1.2	Hacer	46
5.1.3	Verificar	47
5.1.4	Actuar	53
5.2	Desperdicio 2: Desperdicio de pulpa	53
5.2.1	Planear	53
5.2.2	Hacer	54
5.2.3	Verificar	58
5.2.4	Actuar	60
CONCLUSIONES.....		61
RECOMENDACIONES		62
BIBLIOGRAFÍA		63
APÉNDICE 1		68
ANEXO 1		70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de Variables	6
Tabla 2.	Tipos de liners del Molino de Bolas	30
Tabla 3.	Campaña del molino 2 del año 2018	33
Tabla 4.	Matriz de selección de solución propuesta	46
Tabla 5.	Modificaciones en medidas realizadas en los liners	46
Tabla 6.	Comparativo de duración de liners	48
Tabla 7.	Comparativo de espesores	48
Tabla 8.	Comparativo de duración y producción.....	50
Tabla 9.	Evaluación económica del proyecto de mejora (miles de dólares).....	51
Tabla 10.	Ahorro en liners y servicios.....	52
Tabla 11.	Costos por detención del molino (diseño original).....	59
Tabla 12.	Costo de las modificaciones en el spider.....	59
Tabla 13.	Costo por detención después de la implementación.....	60
Tabla 14.	Ahorro de la implementación de las mejoras	60
Tabla 15.	Pérdidas encontradas en el área de molienda	68
Tabla 16.	Priorización de pérdidas del área de molienda.	69
Tabla 17.	Especificaciones del molino de bolas	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Ciclo de Deming.....	18
Figura 2.	Disposición de la planta concentradora CV2	22
Figura 3.	Diagrama de flujo del proceso productivo	26
Figura 4.	Diagrama de análisis del proceso productivo.....	27
Figura 5.	Vista superior de los molinos de bolas (Planta concentradora 2)	28
Figura 6.	Flujos de ingreso y salida en el molino de bolas.....	29
Figura 7.	Zona de mayor desgaste de los liners.....	31
Figura 8.	Desgaste de los liners (diseño original).....	31
Figura 9.	Diseño original de Outer linner (Feed&discharge)	32
Figura 10.	Diseño original de Inner linner (Feed)	32
Figura 11.	Diseño original de Inner linner (Discharge).....	33
Figura 12.	Producción del molino 2 (Diseño original)	34
Figura 13.	Duración de los liners (Diseño original)	34
Figura 14.	Equipo de escaneo de placas de tapa de alimentación	35
Figura 15.	Datos del escaneo del Desgaste de tapas	35
Figura 16.	Análisis Desgaste de tapas de alimentación - Desgaste lifter	36
Figura 17.	Ubicación del spider en el molino de bolas.....	37
Figura 18.	Diseño original del spider del molino de bolas	38
Figura 19.	Rotura de spider	39
Figura 20.	Atoro de chips en las barras	40
Figura 21.	Roturas de las placas de fijación	41
Figura 22.	Placas de fijación.....	42
Figura 23.	Análisis de las causas desde el punto de vista del área de mantenimiento	44
Figura 24.	Análisis de causas desde el punto de vista de operaciones.	44
Figura 25.	Alternativas a evaluar	45
Figura 26.	Modificaciones realizadas a los linner.....	47
Figura 27.	Análisis de desgaste en tapas de alimentación – desgaste placas modificadas.	49
Figura 28.	Escaneos comparativos del antes y después de la Implementación de la propuesta de mejora.	49

Figura 29.	Comparativo de producción de los liners en TM	50
Figura 30.	Comparativo de duración de los liners en meses	50
Figura 31.	Modificación del sistema de sujeción del spider y porta-spider.	55
Figura 32.	Modificación en la apertura central del spider del molino de bolas.....	56
Figura 33.	Reducción de la apertura central del molino de bolas.....	57
Figura 34.	Spider modificado del molino	58
Figura 35.	Modelo de spider en uso.....	59

RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de optimizar los procesos del Área de molienda, los cuales fueron analizados en trabajo anterior y basados en la metodología TPM implementar las mejoras identificadas para medir sus efectos sobre el desempeño de los elementos del área.

Según la metodología de investigación se han planteado las etapas de desarrollo de la tesis considerando desde el planteamiento de la problemática que vive la organización, hasta los resultados que muestran la eficacia de la implementación de las alternativas de solución.

En el primer capítulo se realizó el planteamiento del problema centrado en la identificación previa realizada desde la visión del TPM; asimismo, se especificaron los objetivos de la tesis y las limitaciones y alcances de la misma. Las variables fueron definidas como independiente, la implementación propiamente dicha y los desperdicios desde los pilares del TPM como dependiente.

En el capítulo dos se revisaron el marco teórico y los fundamentos conceptuales que sirven de base para poder plantear las propuestas de implementación, así como la revisión de otros trabajos relacionados al tema que permitieron establecer el contexto del desarrollo del tema de la presente tesis.

Se planteó la metodología en el capítulo tres, resultando una investigación del tipo descriptiva con un diseño pre experimental y centrado en una población de 06 molinos, sin embargo, para el presente estudio se tomó por conveniencia un molino. Para la técnica se tomó la observación, la revisión documental y las entrevistas a expertos.

En el capítulo final se realizó el diagnóstico de la situación actual del área, identificando los principales procesos y haciendo el análisis de los principales desperdicios presentados, asimismo se seleccionó dos de ellos para la implementación por la importancia y costo de la propuesta.

Palabras clave: TPM, mejoras enfocadas, desperdicios, ciclo de Deming.

ABSTRACT

The present work arises from the need to optimize the process of the Grinding Area, which were analyzed in previous work and based on the TPM methodology to implement the improvements identified to measure their effects on the performance of the elements of the area.

According to the research methodology, the thesis development stages have been considered from the approach of the problem that the organization is experiencing to the results that show that the effectiveness of the implementation of the solution alternatives.

In a first chapter, the problem was focused on the previous identification made from the vision of the TPM, the objectives of the thesis and the limitations and scope of the same were also specified. The variables were defined as independent, the actual implementation and waste from the pillars of the TPM as dependent.

In chapter two, the theoretical framework and the conceptual foundations that serve as a basis to raise the proposals for implementation were reviewed, as well as the review of other works related to the subject that allowed establishing the context of the development of the subject of this thesis.

The methodology was presented in chapter three, resulting in a descriptive investigation with a pre-experimental design and focused on a population of 06 mills, however, for the present study a mill was taken for convenience. For the technique, observation, documentary review and interviews with experts were taken.

In a final chapter the diagnosis of the current situation of the area was made, identifying the main process and making the analysis of the main waste presented, two of them were also selected for implementation due to the importance and cost of the proposal.

Keywords: TPM, focused improvements, waste, Deming cycle.

INTRODUCCIÓN

La minería en el mundo es una de las actividades vitales dentro de la estructura económica de muchos países y un medio para generar el desarrollo de las comunidades vinculadas. Este tipo de empresas requieren de maquinaria sumamente preparada para poder soportar la gran cantidad de carga de trabajo y que permita una vida útil larga y en las mejores condiciones para cumplir con las metas productivas.

En el caso de Perú, este sector es uno de las más importantes ya que aporta aproximadamente el 10% al PBI nacional y el 61% según cifras del MINEM al 2018, a esto se añade que representa el 7.1% de la tributación y el incremento de puestos de trabajo, sin contar con la inversión privada y las expectativas internacionales para la inversión.

Es también en términos de productividad, una de las industrias que mejor maneja sus recursos frente a la cantidad de producto elaborado, por lo que este indicador es de gran importancia al momento de encontrar elementos de mejora que mantengan e incrementen esa productividad. Uno de esos elementos es la maquinaria, las cuales son exigidas en tiempo, vida útil y costos por las características de la industria, por lo cual mantenerlas operativas por más tiempo implica también un buen performance en la producción de estas organizaciones.

Es entonces que se deben fijar objetivos de mantenimiento, los cuales deben permitir desarrollar la confiabilidad de los equipos; bajos costos, optimización y calidad de producto. Así se cuenta con herramientas operacionales como el TPM que permitirá actuar con una visión de mejora continua y sobre los estándares del sector minero.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Título de la investigación

Implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el mantenimiento productivo total en el molino de bolas del área de molienda de una planta concentradora de cobre en la ciudad de Arequipa 2019.

1.2 Planteamiento del problema

Las organizaciones globales se encuentran en la necesidad de eliminar las fallas que se produzcan durante el proceso de creación de valor, ya que se mantendrán en el mercado las que optimicen los procesos y eliminen las pérdidas producidas por fallas en los equipos. Es importante señalar que cuando se presenta una falla se debe parar el proceso productivo, afectando la eficiencia de todo el proceso.

La actividad minera no es ajena a esta realidad, en especial uno de sus procesos como es la Molienda; el proceso de molienda se basa en la reducción de tamaño del material extraído a través del molido de manera más rápida y eficiente, por lo cual se vuelve imperiosa la necesidad de optimizar el proceso; de ahí que se convierte en uno de los desafíos que enfrenta esta industria.

En el área de molienda se utiliza maquinaria que es crítica para el proceso, como es el caso del Molino de Bolas; en este molino se ha identificado a través de una evaluación de los pilares del TPM (Aguilar, R. 2018), que presenta un cierto número de fallas, las cuales repercuten en el desempeño del área debido a la generación de desperdicios o pérdidas que menguan los resultados y el esfuerzo del área.

Díaz (2013) afirma “El tiempo de parada, ya sea por mantenimiento preventivo o correctivo, interrumpe el proceso productivo y origina una pérdida de producción que es mayor cuando los eventos de parada ocurren por razones de operación” (p.1), basándose en esta aseveración, se puede inferir que el problema en cuanto fallos que enfrentan los Molinos de Bolas, (paradas, desperdicios de producción, tiempo y otros), afectan la creación de valor en sí mismo, con el perjuicio de los costos que esto conlleva.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿De qué manera la implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el Mantenimiento Productivo Total en los Molinos de Bolas, disminuirá los desperdicios (tiempo, producción y costos) en el área de molienda de una planta concentradora de cobre en la ciudad de Arequipa?

1.3.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la situación actual del molino de bolas del área de molienda?
- ¿Qué fallos inciden en la generación de desperdicios del molino de bolas del área de molienda?
- ¿El pilar de mejoras enfocadas disminuirá los desperdicios del molino de bolas del área de molienda?
- ¿Qué beneficios se obtendrán de las mejoras propuestas?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar la Implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el Mantenimiento Productivo Total en el molino de bolas del área de molienda de una planta concentradora de cobre en la ciudad de Arequipa.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la situación actual del molino de bolas del área de molienda.
- Analizar y determinar los fallos que inciden en la generación de desperdicios.
- Implementar el pilar de mejoras enfocadas en los molinos de bolas que generen desperdicios.

- Presentar los beneficios de la implementación de las mejores propuestas.

1.5 Justificación e importancia de la investigación

1.5.1 Justificación

Justificación económica, el presente trabajo de investigación demostrará que el ahorro obtenido después de la implementación, será mayor que las pérdidas que se generan por las fallas encontradas, siendo muy rentable para la organización.

Justificación teórica, esta tesis se realiza con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre el uso de los pilares del TPM, cuyos resultados podrán sistematizarse para ser incorporado como base de referencia para futuras investigaciones.

Justificación práctica, estas mejoras se podrán extender a las distintas unidades mineras que existen en operación en el país y en el mundo; así mismo, teniendo en cuenta que es la implementación de uno de los pilares del TPM, también tiene relevancia contemporánea.

1.5.2 Importancia de la investigación

Considerando que en el Perú al 2018 existen un aproximado de 685 unidades mineras en producción y 288 unidades mineras en exploración que hacen un total de alrededor de 973 unidades en actividad según los datos del Ministerio de Energía y Minas, que están representadas en este número la mayoría de compañías mineras del mundo y que en cada unidad el proceso de Molienda es parte obligada del mismo, es que la presente implementación es de alta relevancia ya que los resultados podrán no solo implementarse en la planta concentradora de Arequipa, sino replicarse a nivel nacional e internacional.

1.6 Delimitación de la investigación

1.6.1 Delimitación espacial

La investigación se realizó en el área de molienda de una empresa concentradora de cobre en Arequipa.

1.6.2 Delimitación temporal

La investigación y el levantamiento de información se realizaron entre los meses de febrero a junio del 2019.

1.6.3 Delimitación social

La investigación comprende a los trabajadores del Área de molienda de una planta concentradora de cobre en Arequipa.

1.6.4 Delimitación conceptual

La investigación se basa en los conceptos fundamentales del pilar de mejoras enfocadas de la filosofía del TPM, para lograr la mejora de gestión del área de molienda de una planta concentradora de cobre en Arequipa.

1.7 Viabilidad de la investigación

La investigación es viable, porque que el proyecto reúne las características técnicas y operativas que permiten el cumplimiento de los objetivos propuestos. Además, se dispone de los recursos humanos, económicos y de información necesaria para llevarla a cabo.

1.8 Hipótesis de la investigación

Dado que, el pilar de mejoras enfocadas se basa en actividades individuales en equipos para disminuir las pérdidas y desperdicios en las empresas, es probable que, la implementación del pilar de mejoras enfocadas en el Molino de bolas en el área de molienda de una planta concentradora de cobre, permita disminuir los desperdicios generados en planta.

1.9 Variables e indicadores

1.9.1 Variable independiente

La variable independiente es la implementación del pilar de mejoras enfocadas.

1.9.2 Variable dependiente

La variable dependiente son los desperdicios de los molinos de bolas.

1.9.2.1 Operacionalización de variables

En la tabla 1, se presenta la operacionalización de variables.

Tabla 1.*Operacionalización de Variables*

Variable independiente	Dimensión	Indicador
Implementación del pilar mejoras enfocadas	Situación actual	Cantidad de fallos
	Identificación de fallos	Matriz de selección
	Mejoras focalizadas	Cantidad de mejoras identificadas
Variable dependiente	Dimensión	Indicador
Desperdicios de la maquinaria	Perdidas en la maquina	Tiempo de Vida útil del componente
	Perdidas en el proceso	Paradas de Maquina
	Ahorro	Cantidad de producto procesado
		Ahorro con respecto a la perdida

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los estudios de investigación citados a continuación nos reflejan eventos o problemas que se relacionan con el presente trabajo de investigación, por lo cual esta información nos ofrece un contexto para poder aclarar el problema básico de investigación. Dentro de los trabajos e investigaciones previas sobre la implementación del pilar de mejoras enfocadas de la filosofía TPM, mostramos los siguientes:

Un primer trabajo corresponde a Paola Parrado y Juliana Sánchez (2004), quienes realizaron: “Estructuración e implementación del pilar de mejora enfocada en tetra pack Colombia”, trabajo de investigación que se realizó en la Pontificia Universidad Javeriana en Bogotá para obtener el título de Ingeniero Industrial; la cual tiene por objetivo principal reducir las pérdidas del proceso de conversión a través de estructurar e implementar el pilar de mejora enfocada dentro de la metodología WCM de Tetra Pack Colombia. El alcance de este proyecto abarca la estructuración completa del pilar y la implementación teniendo en cuenta el cumplimiento de los objetivos establecidos. Dentro de las conclusiones obtenidas se tiene que el pilar de mejora enfocada contribuye al desarrollo de conocimientos por parte de los empleados y en los procesos productivos de la empresa, generando beneficios económicos equivalentes al 29% de los costos totales de un año de funcionamiento de la planta.

Del mismo modo, un trabajo de María Rojas (2014) para obtener el título de Ingeniería Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, cuyo título es “Implementación de los pilares TPM (mantenimiento Total Productivo) de

mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción OFIXPRES S.A.S.” En este trabajo de investigación se establece como objetivo el utilizar una metodología para poder implementar el pilar del TPM de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, gestionando y controlando indicadores; así como la propuesta de planes de acción para poder incrementar la rentabilidad y competitividad de la organización. En el desarrollo la muestra fue 10 grupos de trabajo, utilizando la técnica de formulación de proyectos para reducir las pérdidas por fallas que se presentaran en la maquinaria, se aplicó como herramienta 5S, 5W 1H, causa - efecto, lluvia de ideas, entre otras. Las conclusiones a las que llega después de hacer el desarrollo de la investigación son que los indicadores analizados dieron el panorama de determinación de puntos críticos sobre los cuales se ejecutaron las acciones correctivas. Adicional se realizó las implementaciones de las diferentes herramientas seleccionadas dando como resultado un ahorro del 20% en desperdicios los cuales impactarían positivamente en las variables estudiadas, todo esto también a través de la capacitación y participación de los trabajadores de la empresa.

Un tercer trabajo realizado por Carlos Rodríguez (2017) para obtener el título de Ingeniería Industrial en la Universidad Privada del Norte cuyo título es “Propuesta de mejora enfocada bajo una gestión TPM, para reducir las pérdidas económicas del área impresión en Norsac S.A.”. Dicha investigación propone como objetivo, reducir las pérdidas económicas en el área de impresión para la empresa Norsac S.A. ya que eso permitirá que también disminuyan las paradas imprevistas y por ende se pueda incrementar la productividad. Durante la investigación se encontró que la disponibilidad mecánica de los activos y la eficiencia del rendimiento de la empresa, tenía indicadores por debajo de lo establecido. Después de hacer la evaluación, se propuso la implementación del mantenimiento autónomo y la mejora del mantenimiento preventivo. Este programa de mantenimiento preventivo permite corregir una falla sin interferir en el funcionamiento de motores eléctricos, tableros eléctricos de control logrando mayor disponibilidad de equipos y por tanto la mejora de la productividad de planta. El programa de inspección de los equipos se elaboró en coordinación con un especialista y planificador del área de mantenimiento; además de la frecuencia se relacionó con el tiempo de duración de la inspección y su tarea asociada a falla posible a detectar por parte del especialista en termografía como en análisis de vibración. (Rodríguez, 2017)

Del mismo modo, se tomará como antecedente de investigación previa, el trabajo realizado en el 2018 para obtener el título de bachiller en Ingeniería Industrial en la Universidad Continental cuyo título es “Análisis y Mejora de la Gestión del Área de Mantenimiento Mecánico Molienda Procesos C2 de la Planta Concentradora de cobre de Sociedad Minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total”, cuyo problema principal es la necesidad de gestionar eficientemente los recursos que se maneja en el área de Mantenimiento del área de Molienda de la planta concentradora de cobre, por lo que se plantea en la aplicación de la filosofía del TPM utilizando las herramientas de mejora continua para definir las causas y proponer las soluciones óptimas. Entre los resultados obtenidos, se concluye con propuestas para la reducción de paradas por fallos, paradas por calidad, mejorar el entrenamiento del trabajador y su eficiencia. (Aguilar, 2018)

Por otra parte, Edwin Portal y Pablo Salazar en la tesis titulada “Propuesta de implementación de mantenimiento productivo total (TPM) en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad operativa de los equipos de movimiento de tierras en la empresa Multiservicios Punre SRL, Cajamarca 2016” para obtener el título de Ingeniero Industrial por la Universidad Privada del Norte, plantea el uso de la filosofía TPM como herramienta para el incremento de la disponibilidad operativa de sus equipos y su impacto en la gestión del mantenimiento. Después de aplicar las mejoras orientadas desde los pilares del TPM propuestos concluyen en primer lugar que la disponibilidad de sus máquinas se encuentra por debajo de la meta que se plantea la empresa que es 85% y obtienen 79% por lo que se justifica la propuesta. En segundo lugar, después del análisis determinan que se centrará el estudio básicamente en dos mejoras: procedimientos y gestión de la información. Finalmente, después de evaluar la propuesta la disponibilidad medida alcanza el 85% que es el mínimo requerido. (Portal & Salazar, 2016)

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Mantenimiento

La principal función del mantenimiento consiste en incrementar la confiabilidad de las máquinas y equipos de la organización, realizando actividades de planeación, organización, control y ejecución de procedimientos para la conservación de equipos. La funcionalidad de la maquinaria está directamente relacionada con las operaciones de mantenimiento. (Mora, 2009)

2.2.2 Mantenimiento Productivo Total (TPM)

El término de TPM fue nombrado en 1971 por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas, que en la actualidad se dedica a la realización de consultorías, investigación, y formación de ingenieros de plantas productivas. Históricamente el TPM inicio en la industria del automóvil, pero rápidamente el interés se extendió fuera de Japón debido a las mejoras en eficiencia, rentabilidad, gestión y calidad. El TPM es la nueva filosofía de trabajo en plantas productivas que se da en torno al mantenimiento, y que depende de la participación de todo el personal, de la eficacia total y del sistema total de gestión del mantenimiento de equipos, desde su diseño hasta la prevención. (Cuatrecasas & Torrell, 2010)

2.2.3 Pilares del TPM

Los pilares del TPM sirven de apoyo para la implementación de un sistema de producción ordenado, los cuales son: (Gómez, 2019)

- A. Mejoras enfocadas o Kobetsukaizen**, son actividades que se desarrollan para maximizar la efectividad global de los equipos, procesos y plantas, con la intervención de todas las áreas que intervienen en el proceso productivo y que se centran en la eliminación de desperdicios.
- B. Mantenimiento autónomo o Jishuhozen**, consiste en la participación del personal de planta en las actividades de mantenimiento, involucrando al mismo en el cuidado de la maquinaria y equipos con la realización de tareas básicas de mantenimiento como limpieza, lubricación, ajustes básicos, etc.
- C. Mantenimiento planificado**, consiste en eliminar problemas y fallas de los equipos a través de acciones de mejora, prevención y predicción. Se utilizan bases de información, programación de recursos, gestión de tecnologías, etc.

- D. Mantenimiento de calidad o Hinshitsuhozen**, en este pilar se busca mejorar la calidad del producto final, reduciendo la variabilidad, ya que las condiciones de la maquinaria o equipo tiene influencia sobre el resultado del producto final.
- E. Prevención del mantenimiento**, son aquellas actividades que se realizan en la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos, con estas actividades se disminuye las acciones de mantenimiento durante el funcionamiento de la maquinaria.
- F. Mantenimiento en áreas administrativas**, son aquellas actividades de apoyo que se dan en los departamentos de planificación, desarrollo, administración, etc., para que a través del aporte de información necesaria el proceso productivo funcione eficientemente.
- G. Entrenamiento y capacitación**, consiste en capacitar al personal involucrado en las operaciones productivas para la correcta forma de interpretar y actuar para el buen funcionamiento de los procesos y equipos.

2.2.4 Desperdicios del TPM

En el TPM se habla de pérdidas o desperdicios, los cuales son (APTEAN, 2012)

- **Paros mecánicos**, no es suficiente con reconocer que las paradas de las maquinas son un problema. Es importante conocer y entender las causas que provocan estas paradas. Así mismo, para conducir el cambio es imprescindible identificar el motivo que las provoca. Más allá de las causas de la parada, los operarios deben saber si la parada es causada por deficiencias de los trabajadores, fallas en los equipos o atraso/ausencia de mantenimiento.
- **Cambios y preparaciones**, un trabajador que no tiene objetivos al momento de realizar un cambio en una máquina o que no dispone de facilidades para la ejecución óptima del trabajo, no podrá minimizar los tiempos de cambio; Pero, en un escenario donde los trabajadores, los encargados y los directores de planta tienen información de los tiempos reales de cambio, la dinámica es completamente diferente.

- **Esperas y paradas menores**, las esperas y micro paradas direccionan a otros problemas mayores de costo y de tiempo perdido. Incluso las más pequeñas paradas afectan los indicadores de mantenimiento.
- **Reducción de la velocidad de las operaciones**, si se dan las facilidades a los trabajadores, la velocidad de la operación de la línea tiene un gran efecto en la productividad de la producción en general. Esto es gracias al efecto de motivación que produce en los operarios el hecho de creerse observados, lo que origina que mejoren su productividad.
- **Retrabajos y rechazos**, saber el tamaño de la pérdida no es suficiente, para implementar las mejoras se necesita conocer la causa que originó dicha pérdida; Es decir, el número de productos que son rechazados, los que se están reprocesando y los motivos de estos retrabajos.
- **Perdidas en los cambios**, la mayoría de las empresas que experimentan pérdidas de productos durante los procesos de arranque o ajuste de las máquinas. Estos casos son un punto de mejora, sobre todo si en una línea de producción se realiza la preparación y arranque durante varias veces en un turno.

2.2.5 Fallos

Llamado también avería, defecto, rotura, lesión, daño, desperfecto, etc. Desde el punto de vista mecánico, un fallo es la deficiencia o falta de algo que origina que el funcionamiento de un activo no sea lo esperado en diferentes circunstancias como la funcional, el estado de conservación, la capacidad productiva, calidad del producto o servicio, condiciones de seguridad, etc. (Gómez F. , 1998)

Dada la amplitud del término es necesario establecer una clasificación atendiendo varios criterios:

- A. Dependiendo del modo de aparición y desarrollo:
 - Progresivo, llamado también gradual o paramétrico, es consecuencia del deterioro progresivo de las características de un componente o conjunto de componentes de un sistema productivo.
 - Repentino, llamado también súbito, este tipo de fallo no puede ser detectado ya que se presenta de forma inesperada.

- B. Dependiendo del efecto en el proceso:
- Parcial, también llamado incompleto son aquellos que no ocasionan la parada del equipo o del proceso, aunque si se afectan las características funcionales de los mismos.
 - Total, estos fallos provocan la parada inmediata de los equipos o del sistema productivo.
- C. Dependiendo del momento en que ocurre:
- Infantil, son conocidos como fallos en periodo de prueba, son aquellos producidos al momento del ensamble o montaje del equipo.
 - Por envejecimiento, llamado también como desgaste o fin de vida útil, son los que se originan por el deterioro progresivo y normal de los equipos o maquinarias por el uso o funcionamiento que tienen.
- D. Dependiendo a la duración del fallo:
- Estable, llamados también averías, son aquellos que se eliminan con la reparación del sistema afectado.
 - Pasajero, llamado también temporal, generalmente son aleatorios y desaparecen por si solos, sin realizar ninguna reparación.
 - Intermitente, son los que se asocian a las características funcionales de trabajo, como cambios de temperatura, velocidad de operación, etc.
- E. Dependiendo al origen del fallo:
- Directo o dependiente, son aquellos fallos que se originan en el mismo equipo o máquina.
 - Indirecto o independiente, son los fallos que se originan por efecto del funcionamiento de otros equipos o maquinarias del sistema productivo.
- F. Dependiendo a la información del fallo:
- Manifiesto, son aquellos fallos con los que se tiene información de lo ocurrido, ya sea por registros históricos, observación de lo ocurrido, medición de parámetros, etc.
 - Oculto, se dan cuando no existen métodos para detectar el fallo, o estos no han sido puestos en práctica.

2.2.6 Producción

La función de producción puede definirse en dos aspectos importantes, desde un punto de vista tecnológico y un punto de vista económico.

Tecnológicamente es la aplicación de procesos físicos y químicos que afectan las propiedades y apariencia de un determinado material para elaborar partes o un producto terminado (también se incluye los procesos de ensamble). En este contexto se involucra la combinación de máquinas, herramientas, trabajo manual y energía. Los procesos productivos se desarrollan en etapas sucesivas donde cada etapa lleva al material más cerca de su estado final.

Económicamente la función de producción es la transformación de materiales a productos de mayor valor a través de una serie de operaciones o procesos de ensamble desde esta perspectiva el punto clave es añadir valor al material original cambiando su forma o propiedades. (Grover, 1997)

2.2.7 Mejora continua

La mejora continua percibe dos puntos de vista, un punto en el que lo define como una filosofía de trabajo y otro que lo define como un sistema cuyo objetivo es mejorar día a día las actividades en materia de productividad, niveles de calidad, costos, niveles de seguridad, niveles de satisfacción, tiempos en los ciclos de producción, tiempos de respuesta y grado de fiabilidad de los procesos. La mejora continua es un proceso que se basa en el trabajo en equipo y orientado a la acción, promulga que el camino hacia la perfección es de responsabilidad, propiedad y debe ser conducido por todos los trabajadores de la organización. Implica, tanto la implementación de un sistema como el aprendizaje continuo, el seguimiento de una filosofía de gestión, y la participación activa de todas las personas. (Esquivel, León, & Castellanos, 2017)

2.2.8 Criticidad de equipos

En una organización no todos los equipos tienen la misma importancia, es conocido que en el proceso productivo unos equipos son más trascendentales que otros. Se debe destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dado que los recursos para mantener la planta son limitados, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos influyen en los resultados de la organización.

Cuando se realiza esta diferenciación, estamos hablando del Análisis de Criticidad de los equipos de planta. Existen niveles de importancia o criticidad: (García, 2006)

- A. Equipos críticos**, son aquellos equipos o maquinas cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- B. Equipos importantes**, son aquellos equipos o máquinas cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- C. Equipos prescindibles**, son aquellos equipos o maquinas con baja incidencia en los resultados. Como mucho, solo generan una pequeña incomodidad, pequeño cambio sin trascendencia, o mínimo coste adicional.

Adicionalmente, algunas empresas incluyen una categoría más: equipos altamente críticos. Con esta nueva categoría se pretende distinguir entre dos tipos de equipos críticos: equipos más críticos y equipos menos críticos.

2.2.9 Confiabilidad

Se puede definir a la confiabilidad como la frecuencia con la cual ocurren las fallas a través del tiempo, por lo cual un equipo es 100% confiable si no presenta fallas, la confiabilidad es aceptable si la frecuencia de fallas es muy baja y es poco confiable si la frecuencia de fallas es muy alta. Un equipo con un muy buen diseño, excelente montaje, adecuadas pruebas de trabajo en campo y un apropiado mantenimiento nunca debe fallar; sin embargo, la práctica nos enseña que incluso los mejores equipos fallan alguna vez. (Mora, 2009)

2.2.10 Disponibilidad

Disponibilidad en términos de mantenimiento, se define como el tiempo de operación expresado en porcentaje de un periodo de tiempo. Para obtener la disponibilidad de una máquina o equipo, del periodo de tiempo a analizar se resta el tiempo perdido durante las paradas programadas y el tiempo perdido en paradas súbitas importantes en el mismo periodo de tiempo. Luego se divide el resultado por el periodo de tiempo y se multiplica por 100. (Suzuki, 1996)

2.2.11 Costo

El término costo, es una expresión de valor que se emplea para designar lo que cuesta fabricar un bien, un producto o un servicio o se refiere al monto de la inversión. En técnicas más específicas existen términos que hablan de costo económico, costo social, costo cuantificable y no cuantificable, costo de producción y costo de no producción. Como todos estos términos tienen validez, lo mejor para definir el costo, es darle un contexto relacionado con el objeto de análisis en el que esté. (Torres, 2011)

2.2.12 Vida útil de un equipo

De Santis considera tres conceptos básicos sobre la vida de los componentes:

- A. Vida útil**, es definida como el tiempo de funcionamiento de forma razonable y segura de un sistema, estructura o componente; teniendo en cuenta el deterioro progresivo debido al uso.
- B. Vida operativa**, es la expectativa de vida que tiene un equipo o máquina para lograr el aprovechamiento máximo de su funcionamiento en su estado original.
- C. Vida en servicio**, es el tiempo de vida segura de un equipo o máquina teniendo en cuenta su funcionalidad, rendimiento y fiabilidad, a través del cumplimiento de planes de mantenimiento.

Así mismo, concluye que todos los equipos y maquinarias deben comprender una duración segura de servicio ya sea por ciclos de operación o por tiempo, sin tener en cuenta la extensión de dicho tiempo de servicio que se pueda tener gracias al mantenimiento preventivo, restaurativo o de conservación; Ese tiempo de servicio es lo que considera como vida útil. (de Santis, 2015)

2.2.13 Ahorro

En términos simples se puede definir al ahorro como la parte del ingreso de una persona, empresa o del gobierno que no se utiliza para el consumo inmediato de algún bien o servicio; Por lo general, este ahorro se lleva para atender un gasto eventual, financiar la compra de un bien o garantizar la estabilidad económica. (Pachón, Acosta, & Milazzo, 2005)

Para los individuos de un país no tienen más alternativa que consumir o ahorrar, por lo tanto, sus ingresos se deben distribuir entre ambas opciones. Del mismo modo,

enseña que el ahorro debe ser igual a la inversión dado que todo el dinero que se extrae de la economía para ahorrarlo, debe regresar a la misma en forma de inversión. (Schettino, 2002)

2.2.14 Ciclo de Deming

El ciclo de Deming o Ciclo PDCA por sus siglas en inglés de Plan - Do - Check - Act, (Planificar - Hacer - Verificar - Actuar) fue ideado por Shewhart y divulgado por Deming, quien lo utilizó para explicar que la mejora continua en cada una de las actividades ha de seguir un ciclo que se repite de forma ininterrumpida; por lo cual se conoce como ciclo. (González, Domingo, & Sebastián, 2013)

- A. Do - Planificar**, al inicio de una acción de mejora es necesario realizar un diagnóstico de la situación actual para asegurarse que los métodos utilizados están documentados y estandarizados. En base a esta data se identifican y definen los problemas y se realiza la planificación de las acciones a emprender para solucionar estos problemas.
- B. Do - Hacer**, consiste en la implantación del plan propuesto, es conveniente realizar un plan piloto en un área de la empresa, para detectar posibles inconvenientes a los cambios propuestos.
- C. Check-Verificar**, la información registrada en la etapa de la ejecución de la propuesta es evaluada para controlar las posibles desviaciones respecto a la planificación prevista.
- D. Act - Actuar**, en función a los resultados obtenidos durante la fase de verificación se adoptan las medidas oportunas. Si el plan funciona conforme a lo establecido se instituyen los cambios a nivel general y se comunica al personal afectado; Si el plan no ha tenido éxito, se vuelve a empezar el ciclo.

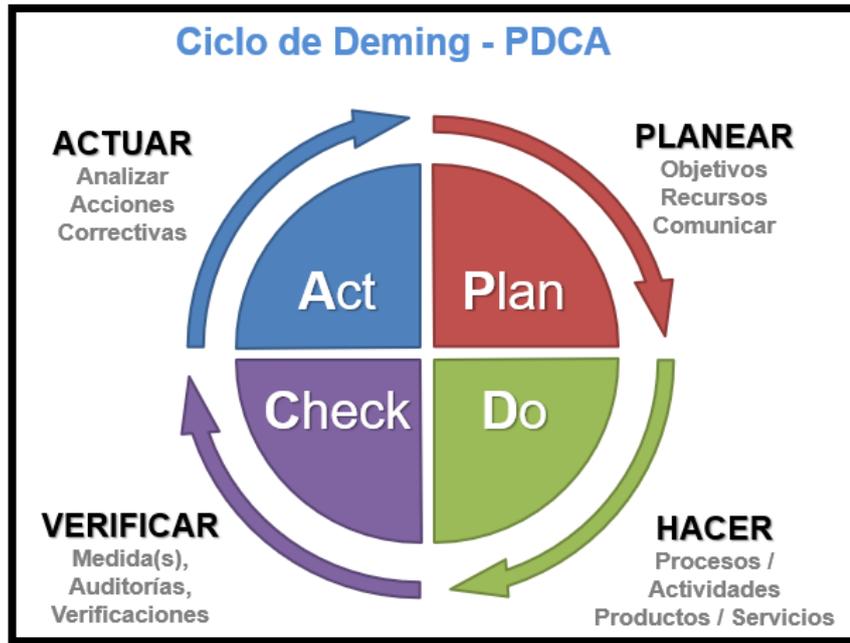


Figura 1. Ciclo de Deming
Nota: Obtenido de crizasa.com

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

Para efectos de la presente investigación, utilizaremos la metodología deductiva, este método consiste en utilizar conclusiones generales para obtener explicaciones particulares, iniciando con el análisis de leyes, principios, teoremas, etc. Comprobados para aplicarlos en soluciones particulares. (Bernal, 2010)

Con respecto al alcance de la investigación, Hernández indica que no se debe considerar el alcance de la investigación como tipo de investigación, ya que constituye un continuo de “causalidad” que puede tener un estudio, por lo cual el alcance de la presente investigación es descriptivo, ya que se busca describir fenómenos, situaciones y contextos del objeto de estudio y de cómo se manifiestan en el campo. (Hernández, Fernández, Baptista, Méndez, & Mendoza, 2014)

3.2 Diseño de la investigación

Con el diseño, se planea la estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación, se trata de una investigación pre experimental que se caracteriza por tener un mínimo grado de control, generalmente se utiliza como un primer acercamiento de llevar el problema a la realidad. (Hernández, Fernández, Baptista, Méndez, & Mendoza, 2014)

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

Dado que la población es el conjunto de todos los elementos a los cuales se refiere la investigación (Bernal, 2010), se concluye que, para la presente investigación, la población está dada por los fallos que se presenten en los 06 molinos de bolas de la planta concentradora durante las horas de trabajo.

3.3.2 Muestra

Es la parte de la población que se selecciona, de la cual realmente se obtiene la información (Bernal, 2010). Primero se debe definir y delimitar y debe representar a la población, ya que los resultados que se obtengan de la muestra se generalizarán a la población.

Dado que se busca investigar la situación actual de los molinos de bolas, el tipo de muestreo será no probabilístico, por conveniencia, considerando las fallas que se presenten durante los dos últimos años de operación de uno de los molinos de bolas del área de Molienda, el seleccionado es el molino número 2.

3.4 Recolección de datos

Una etapa importante en la elaboración de la presente investigación se da en la obtención de la información, esta etapa también se conoce como trabajo de campo. Esta información que va a recolectarse es el medio a través del cual se prueban las hipótesis, se responden las preguntas de investigación y se logran los objetivos del estudio originados del problema de investigación. Los datos, entonces, deben ser pertinentes y suficientes, para lo cual es necesario definir las fuentes y técnicas adecuadas para su recolección. (Bernal, 2010)

3.4.1 Técnicas

En la actualidad, en la investigación científica existe gran variedad de técnicas para la recolección de información en el trabajo de campo, entre las que tenemos la observación, la encuesta, la entrevista, análisis de contenido, etc. Para recolectar la información en el presente trabajo utilizaremos las técnicas de la observación y la entrevista.

La observación nos permitirá obtener información directa para lo cual utilizaremos procedimientos sistematizados y con la entrevista estableceremos contacto con las personas que intervienen en el objeto de estudio. (Hernández, Fernández, Baptista, Méndez, & Mendoza, 2014)

3.4.2 Instrumentos

Para el presente trabajo se utilizará para la observación cámaras fotográficas y de video y fichas de observación; para el caso de las entrevistas realizaremos Focus Group y equipos de grabación de audio.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diagnóstico situacional

4.1.1 Descripción de la empresa

Las instalaciones de la planta concentradora están diseñadas para tratar un promedio de 240,000 TMPD de mineral de sulfuro primario y producir concentrados de cobre y de molibdeno por separado. El diseño del proceso se basa en la tecnología actual y en los tamaños de equipo más grandes existentes y disponibles.

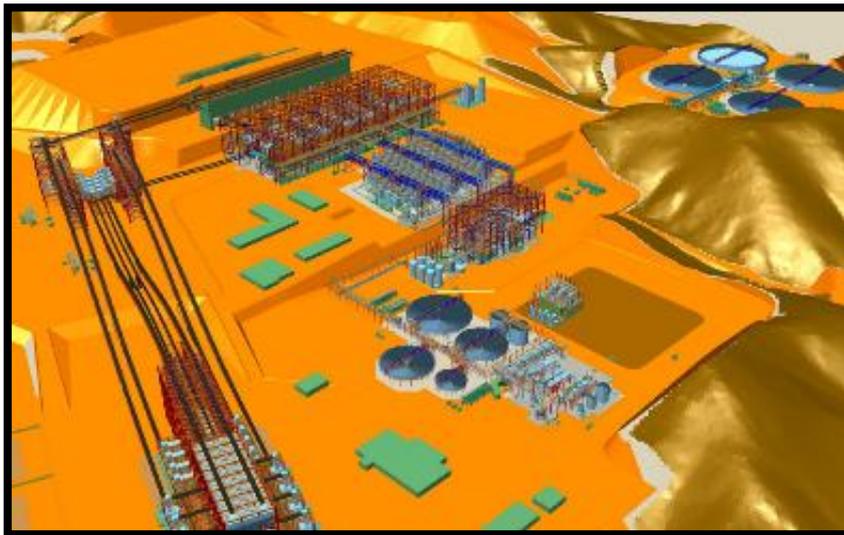


Figura 2. Disposición de la planta concentradora CV2
Nota: Extraído del manual de operaciones de la planta concentradora.

4.1.2 Proceso productivo

Esta sección proporciona la descripción general del proceso, desde la extracción hasta la entrega del concentrado al puerto de embarque.

A. Descripción literal

- Extracción, la extracción es a tajo abierto, la cual se da cuando el mineral está ubicado cerca de la superficie y el material que lo cubre puede ser retirado con facilidad. El tajo se construye con un determinado ángulo de talud, con bancos y bermas en las que se realizan las detonaciones, de donde sale el mineral que luego será transportado por estas mismas vías.
- Chancado, el propósito del chancado, es reducir el tamaño del mineral proveniente directamente de la extracción a un tamaño que pueda ser fácilmente procesado por la etapa de molienda y clasificación. El mineral removido mediante la voladura es acarreado desde la mina en camiones de 240 toneladas y descargado en las chancadoras giratorias primarias.

El rango y distribución de tamaño de partícula del mineral (granulometría) dependerá de la composición minera lógica del mineral. Siendo el proceso de voladura el responsable de la adecuada fragmentación del mineral para que las chancadoras primarias reduzcan el mineral desde un tamaño máximo de roca de aproximadamente 1.2 m hasta un P80 de 100-165 mm. El chancado secundario y terciario se considera como la segunda y tercera etapa, previas a la molienda, que reducen el tamaño de partícula del mineral desde la descarga de la chancadora primaria P80 100-165 mm hasta un P80 de 12-21 mm.

- Molienda, la molienda es la etapa previa al proceso de concentración por flotación, por lo que debe preparar al material con respecto al tamaño de las partículas y propiedades superficiales. Durante la molienda se da al material la forma de pulpa con alrededor de 28% de sólidos en peso, siendo lo más importante lograr un grado de liberación adecuado para lograr una eficiente recuperación del contenido metálico para ser empleada en la presa de relaves.

Otro punto importante en la molienda se refleja en los costos de operación, ya que moler más de lo necesario demanda mayor consumo de energía, de tal modo, se debe controlar la relación entre la energía consumida durante el proceso y el tamaño de partícula necesaria.

En la molienda el mineral se descarga gravitacionalmente en un cajón donde se agrega agua para diluir el material seco. La mezcla resultante se descarga en una zaranda vibratoria que permite la separación por tamaño en malla de 5 mm. Las partículas mayores retornan al chancado terciario y el material que pasa por la malla de 5 mm cae a un sumidero de donde es bombeada a una batería de ciclones.

Los ciclones realizan la clasificación de tamaños, el material que satisface las condiciones físicas del mineral pasa al circuito de flotación y el material grueso pasa al molino de bolas, donde obtiene un tamaño de P80 de 140-150 μm .

Un molino no puede operar si su sección de flotación no funciona y si un molino de bolas está inoperativo, no habrá operación de su sección de flotación, lo que no ocurre en ninguna de las secciones anteriores.

- Flotación de cobre, La flotación es un proceso físico-químico de separación de minerales, a la pulpa se le añade reactivos que permiten la flotación de los sulfuros de cobre y molibdeno. Cuando se le aplica aire a esta pulpa se forma espuma en la superficie que se mezcla con los sulfuros, pero no con el material que no sirve. Las burbujas, a medida que van ascendiendo, se van enriqueciendo del mineral hasta que alcanza la superficie y en donde son posteriormente retiradas.

Este proceso se realiza en equipos denominados celdas de flotación, las cuales constan de 3 zonas: una zona de gran turbulencia donde se hace la mezcla burbuja – partícula, la turbulencia es provocada por agitación mecánica. La zona del medio es relativamente tranquila ya que en esta zona las burbujas se dirigen a la superficie de la celda y la zona superior corresponde a la fase acuosa, donde las burbujas por rebalse natural, son canalizadas a un cajón de concentrados de flotación para ser enviados a la clasificación centrífuga del nido de ciclones para su remolienda.

- Planta de Molibdeno, En el circuito de molibdeno se procesa el concentrado cobre-molibdeno (concentrado bulk) producido por el circuito de flotación de cobre para separar el molibdeno del cobre.

La flotación se realiza en equipos denominados celdas de flotación, de los cuales, existen dos tipos: las celdas convencionales con accionamiento mecánico, y las celdas columnas que son de flotaciones neumáticas.

Las celdas convencionales destacan por tener tres zonas: zona de gran turbulencia, que provoca la adhesión partícula-burbuja, la zona intermedia que permite que las burbujas migren a la superficie y la zona superior formada por burbujas que llegaron a la superficie.

Las celdas columnas destacan por tener cuatro zonas: tres zonas de limpieza comprendidas en la parte superior de la columna que son la fase espuma, interfaz pulpa-espuma y la fase pulpa y la zona de colección que es la zona inferior de la columna y va desde donde ingresa la alimentación hasta los inyectores de aire.

- Espesado y filtrado, el concentrado de Cobre proveniente del circuito de flotación de Molibdeno es espesado hasta llegar aproximadamente a 64% de sólidos antes de ser transferido hacia tanques de almacenamiento con agitación mecánica.

El proceso de filtrado consiste en bombear el concentrado hacia los compartimentos del filtro en los cuales se deja pasar el agua mientras se retienen los sólidos. Comprimiendo la capa de sólidos y luego inyectando aire comprimido en la cámara de secado se reduce más aún la humedad.

- Transporte a puerto, un cargador frontal transfiere el concentrado desde el área de almacenamiento y despacho en la planta concentradora, hasta la tolva de alimentación de la faja transportadora de carguío, La faja carga en contenedores de 15 toneladas cada uno; el concentrado cargado en cada contenedor es pesado y muestreado para registrar los embarques y asegurarse de un máximo llenado sin sobrecarga. Los contenedores son llevados en camiones hacia el depósito de almacenamiento en el puerto de embarque.
- Almacenado, en el puerto de embarque, la descarga es a través de un puente grúa que levanta el contenedor de concentrado y mediante un sistema de fajas lo deposita en el interior del depósito, formando una pila de 15 metros de altura.

Los depósitos tienen cerco perimétrico, con diferentes alturas de muro y son herméticamente cerrados, el concentrado es almacenado hasta que se acumule lo suficiente para completar un embarque.

4.1.3 Diagrama de flujo del proceso productivo

El diagrama de flujo del proceso productivo se presenta en la figura 3.

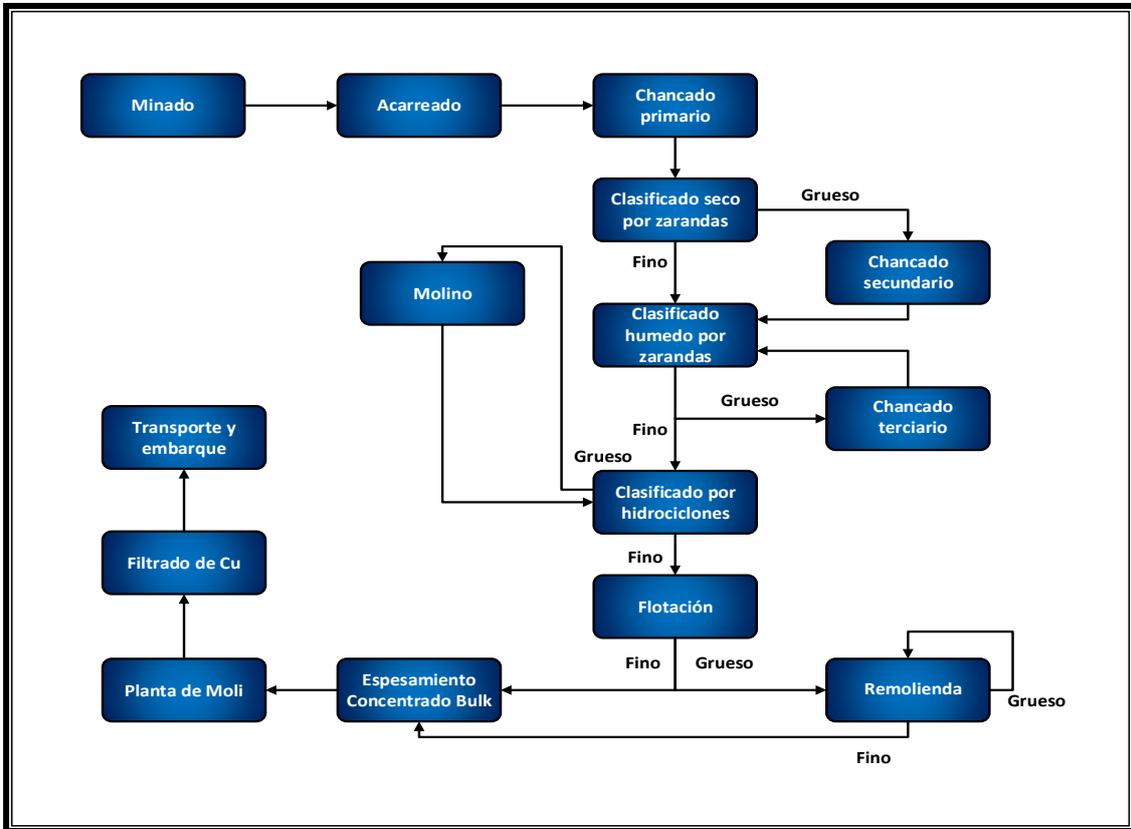


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso productivo

Nota: Elaboración propia.

4.1.4 Diagrama de análisis del proceso productivo

En la figura 3, se muestra el diagrama de análisis del proceso productivo del cobre.

4.1.5 Molino de bolas – concentradora 2

La planta concentradora 2 cuenta con 06 molinos de bolas de la marca Polysius de 27' x 48' (8.2m x 14.6m) y tiene una capacidad de procesamiento de 280.000 TMF.

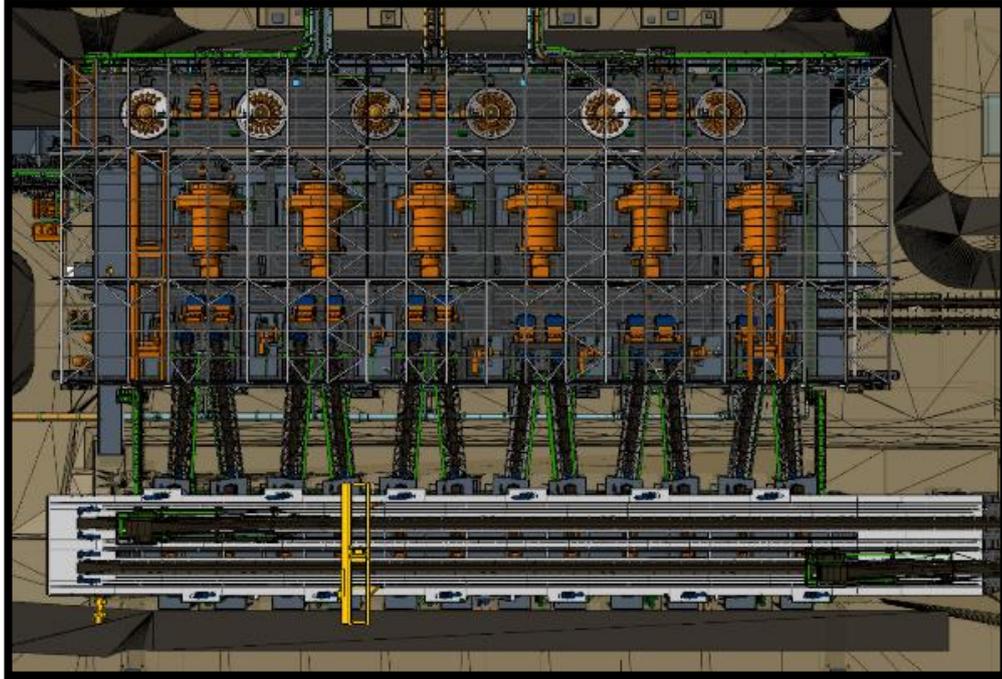


Figura 5. Vista superior de los molinos de bolas (Planta concentradora 2)
Nota: Extraído del manual de operaciones de la planta concentradora

El molino es un equipo rotatorio horizontal que disminuye el tamaño del mineral mediante el uso de bolas de acero forjado. Consiste en un cilindro horizontal de 8.2mt de diámetro x 14.6mt de longitud, revestido internamente con liners y lifters, la entrada cuenta con un chute móvil y la descarga con un trunnion magnético, además de un sistema de accionamiento a través de un motor anular tipo gearless de 22,000 Kw, un sistema hidráulico de lubricación y un sistema de frenado.

Los molinos de bolas son equipos que reciben el flujo de mineral, UF de batería de ciclones, bolas de molino y agua de proceso de los chutes de alimentación. El flujo de mineral resultado de la molienda es descargado sobre las trampas parrilla de descarga.

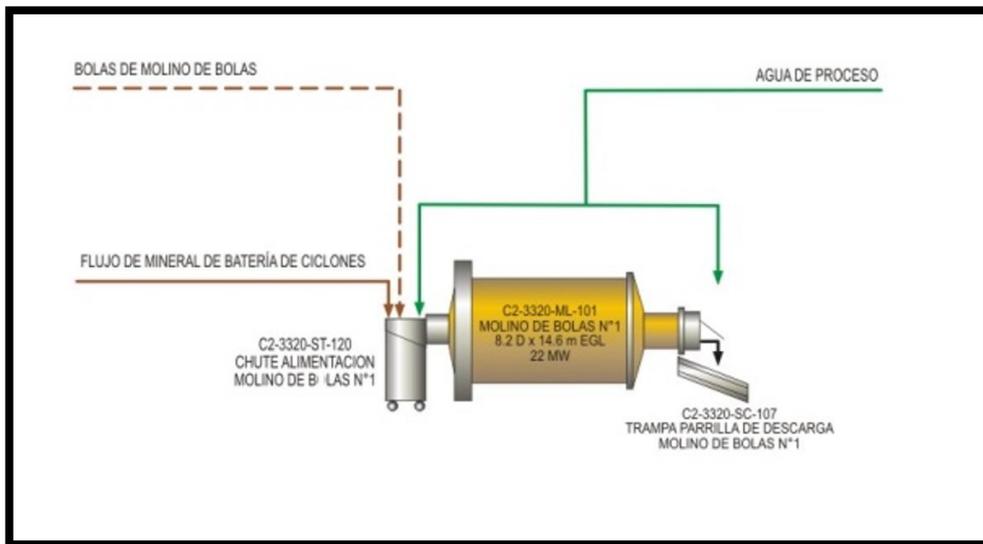


Figura 6. Flujos de ingreso y salida en el molino de bolas
Nota: Extraído del manual técnico (Departamento de mantenimiento)

Con respecto al funcionamiento, el agua del proceso, el mineral y las bolas de molienda ingresan por la entrada del molino; en el interior del molino se realiza la trituración y abrasión debido al movimiento giratorio, al diseño y la disposición de los revestimientos del interior del cilindro.

Los revestimientos del interior producen que el material a ser molido y las bolas de molienda se levanten, consiguiendo así una trituración a base de los golpes por las bolas que caen y una molienda fina por el movimiento relativo en el lecho de bolas.

El producto de esta molienda, que contiene bolas y trozos de bolas, se separan al momento de salir del molino por el trunnion magnético.

En el anexo 1 se presentan las especificaciones técnicas del molino de bolas.

4.1.6 Identificación de desperdicios

De acuerdo a Aguilar (2019) en el trabajo de investigación titulado “Análisis y mejora de la gestión del área de mantenimiento mecánico molienda procesos C2 de la planta concentradora de cobre de Sociedad Minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de mantenimiento productivo total”, se identificaron bajo la técnica del TPM los desperdicios que ocurrían en la Planta de Molienda, cuyo resumen se muestra en el apéndice 1, utilizando el criterio de los expertos se priorizaron los siguientes desperdicios:

- Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga.

- Desperdicio de pulpa.

4.2 Desperdicio 1: Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga (chute)

Una parte importante del molino son los liners, los cuales recubren al chute; se denomina liners a los revestimientos que lleva un molino para proteger del desgaste producto de la molienda.

Estos liners se clasifican en:

- Liners de Tapas: Liners tipo outer (anillo externo) y liners tipo iner (anillo interno), tanto en la tapa de alimentación como en la tapa de descarga de un molino.
- Liners de shell (cilindro): Liners shell inlet (anillo de entrada), liners shell middele (anillo medio) y liners shell outlet (anillo de salida)

Esta clase de molino cuenta con 6 tipos de liners:

Tabla 2.

Tipos de liners del Molino de Bolas

Liners	Tipo	Cantidad
Tapa	FE Inner Liners (FR)	12
	FE-DE Outer liners (FE - DE)	24
	DE Inner liners (DE)	12
	Filler rings	48
Shell	Shell liners (S)	144
Trunnion	Trunnion liners	8

Nota: Extraído del manual de operaciones de la planta concentradora.

4.2.1 Descripción del desperdicio

En este caso, el problema se presenta por el desgaste de los liners; por ejemplo, en las 3 últimas campañas los liners de tapas duraron 8.1 meses, lo que representa 10,200,549TN de producción.

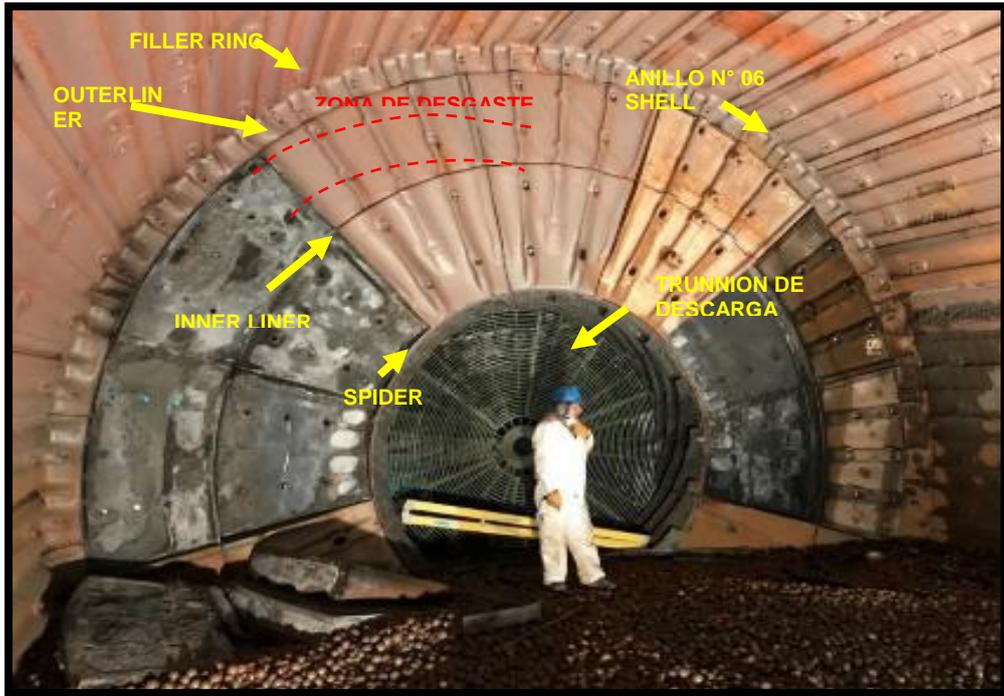


Figura 7. Zona de mayor desgaste de los liners.
Nota: Elaboración propia basado en fotos de la empresa.

En la figura 7, se observa como están dispuestos los diferentes tipos de liners en el interior del molino de bolas, los outer liners en la parte exterior y los inner liner en la parte interior y en el centro se puede apreciar el spider y trunion de descarga.

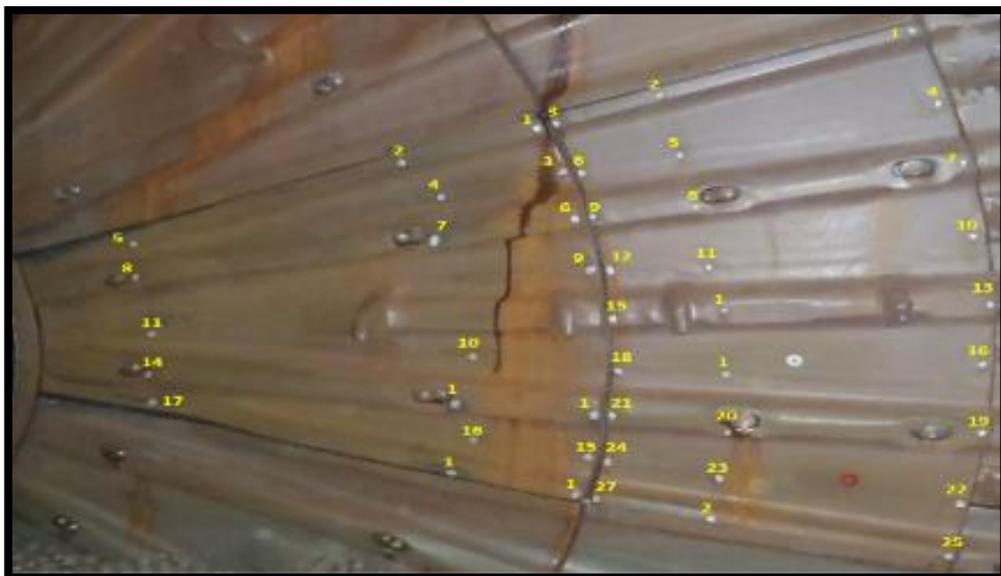


Figura 8. Desgaste de los liners (diseño original)
Nota: Escaneo de Mantenimiento Predictivo de la empresa

En la figura 8, se observa la zona de desgaste en los liners, tal como se aprecia, la mayor zona de desgaste se da en la unión inner – outer, llegando a la fractura del material.

En la figura 9, figura 10 y figura 11 se muestra el diseño original de los 3 tipos de liners de la tapa.



Figura 9. Diseño original de Outer liner (Feed&discharge)
Nota: Elaboración propia

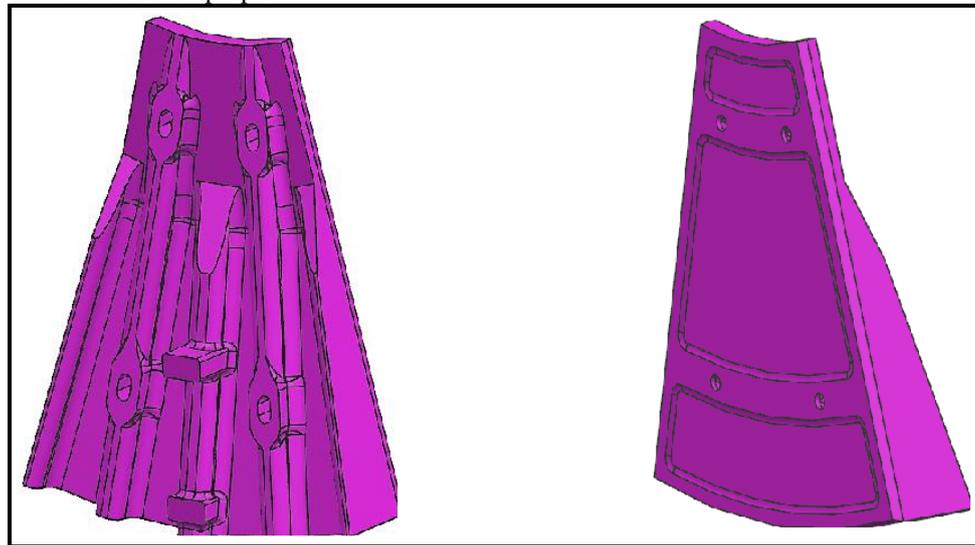


Figura 10. Diseño original de Inner liner (Feed)
Nota: Elaboración propia

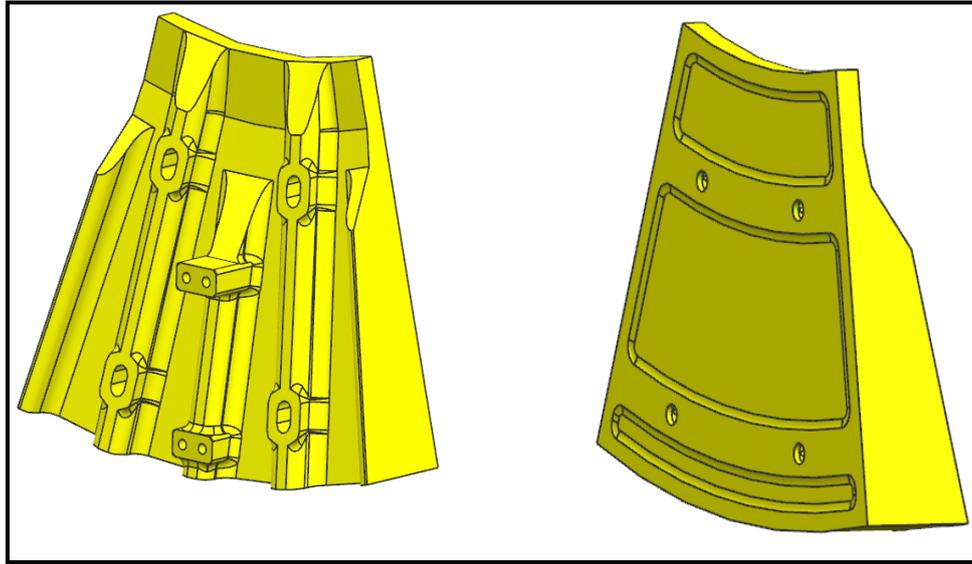


Figura 11. Diseño original de Inner linner (Discharge)

Nota: Elaboración propia

Según los datos, del molino 2, el cual tomaremos como muestra, ha tenido en el 2018 tres campañas, dando como promedio de producción total 10.2 TM y sus liners una duración de 8.1 meses, los cuales constituyen los resultados del diseño actual. En la tabla n° 3 y en las figuras 11 y 12 se muestran los datos de cada campaña.

Tabla 3.

Campaña del molino 2 del año 2018

Campaña (2018)	Producción (tn)	Duración (meses)
1	10.7	8.6
2	9.8	7.7
3	10	8.1
Promedio	10.2	8.1

Nota: Obtenido del departamento de producción.

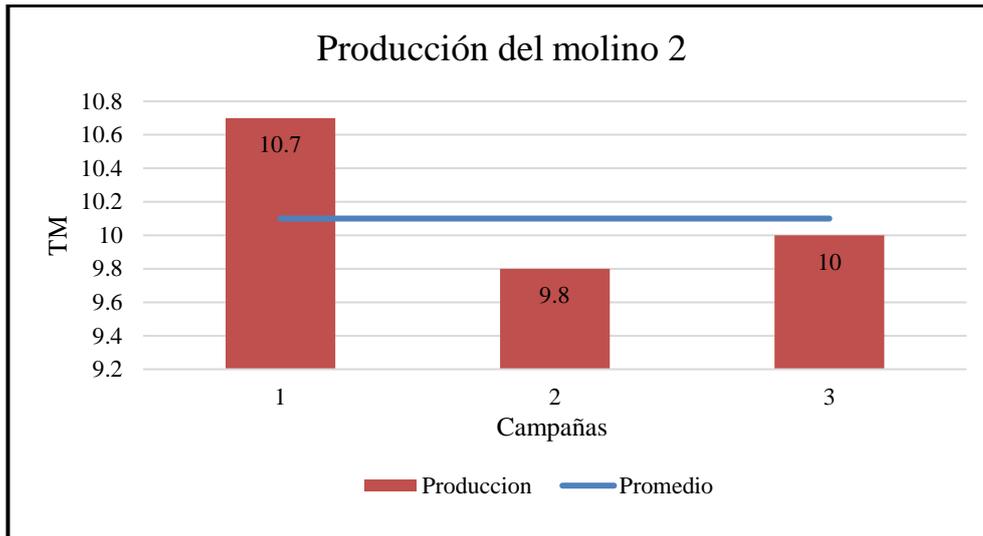


Figura 12. Producción del molino 2 (Diseño original)

Nota: Se refiere a la producción en Toneladas Métricas del molino 2 en las 3 últimas campañas con liners originales.

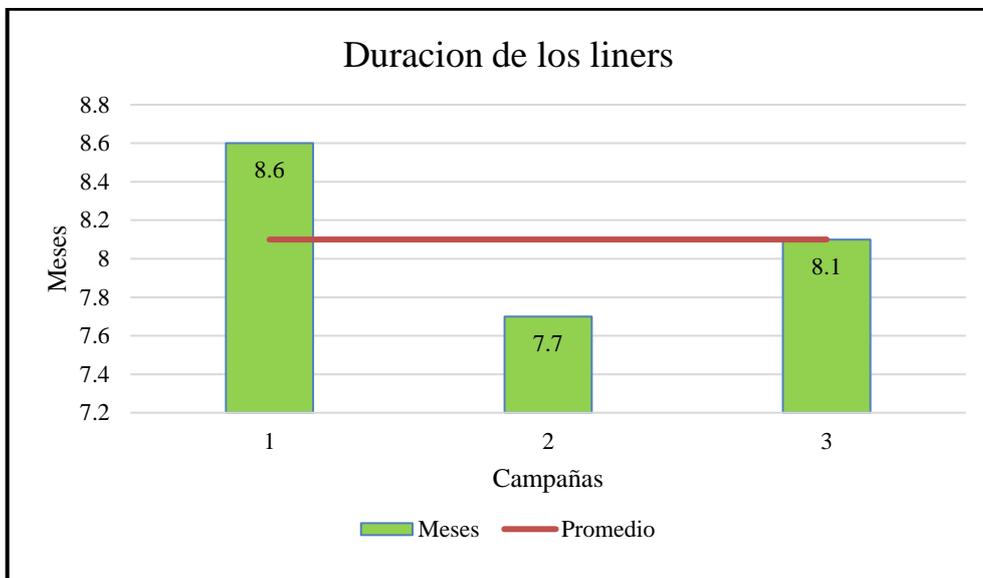


Figura 13. Duración de los liners (Diseño original)

Nota: Se refiere a la duración de los liners en las 3 últimas campañas.

De la figura 12 y figura 13, se puede concluir que la relación entre la duración de los liners y la cantidad de producción del molino 2 están directamente relacionadas, por lo que se concluye que los liners son un elemento crítico en el desempeño del molino, afectando la producción y que de mejorar el rendimiento de estas piezas se vería un sustancial incremento de las toneladas de producción.

4.2.2 Análisis del desgaste de las tapas

Primero se realizó el análisis del desgaste de tapas a través del escaneo de las placas para poder determinar los puntos exactos para iniciar el proceso de diseño.

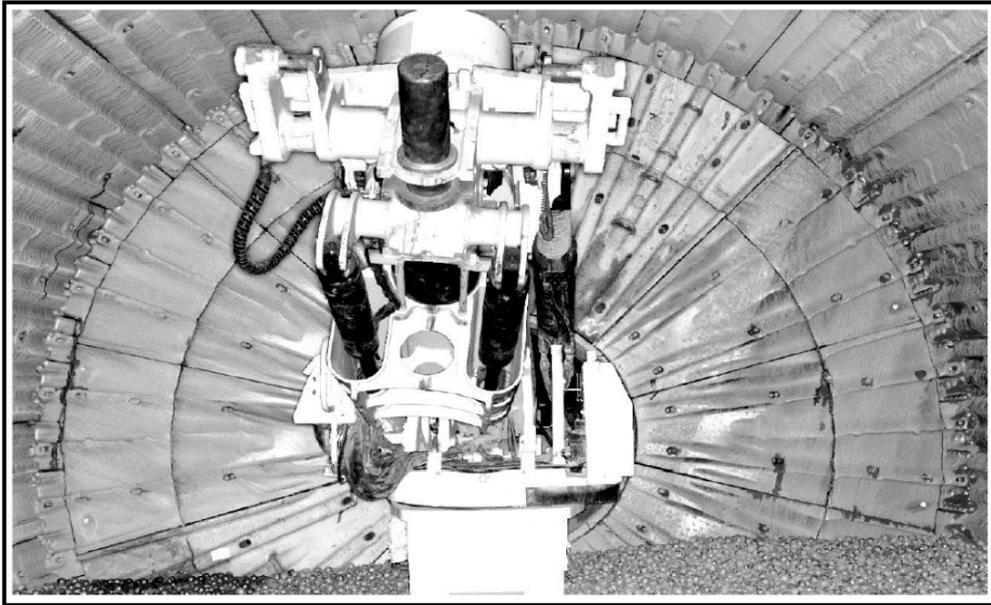


Figura 14. Equipo de escaneo de placas de tapa de alimentación
Nota: Extraído del manual de operaciones de la planta concentradora

En la figura 14 el escaneo de los revestimientos, se muestran los datos sobre el desgaste de los liners, estos son los valores obtenidos de medición de los espesores en cada punto en todos los revestimientos del molino (liners de tapas de alimentación, descarga y el cilindro o Shell)

La línea azul muestra el desgaste de los revestimientos, y las zonas de mayor incidencia de la carga.

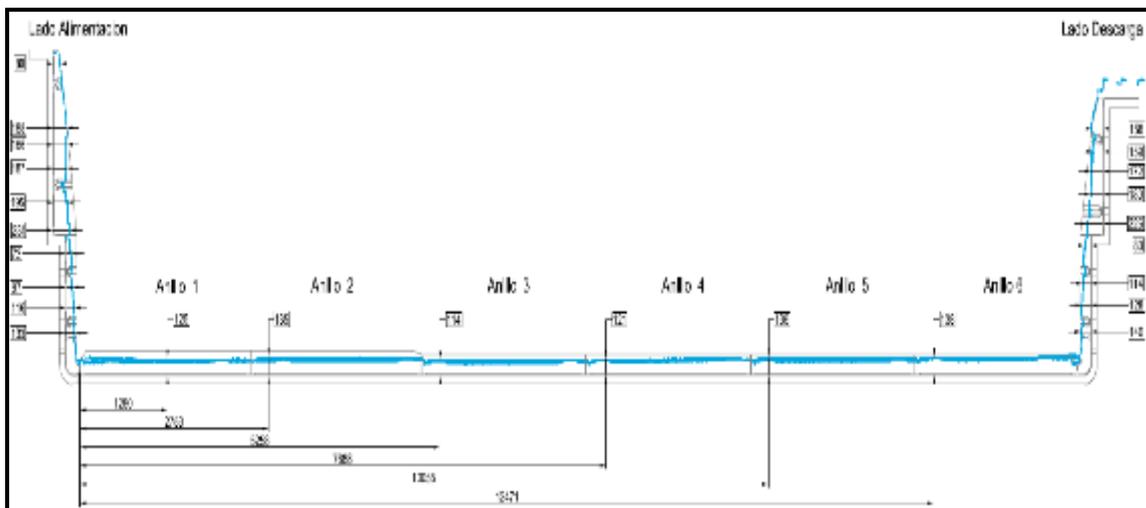


Figura 15. Datos del escaneo del Desgaste de tapas

Nota: Extraído de las mediciones de mantenimiento predictivo.

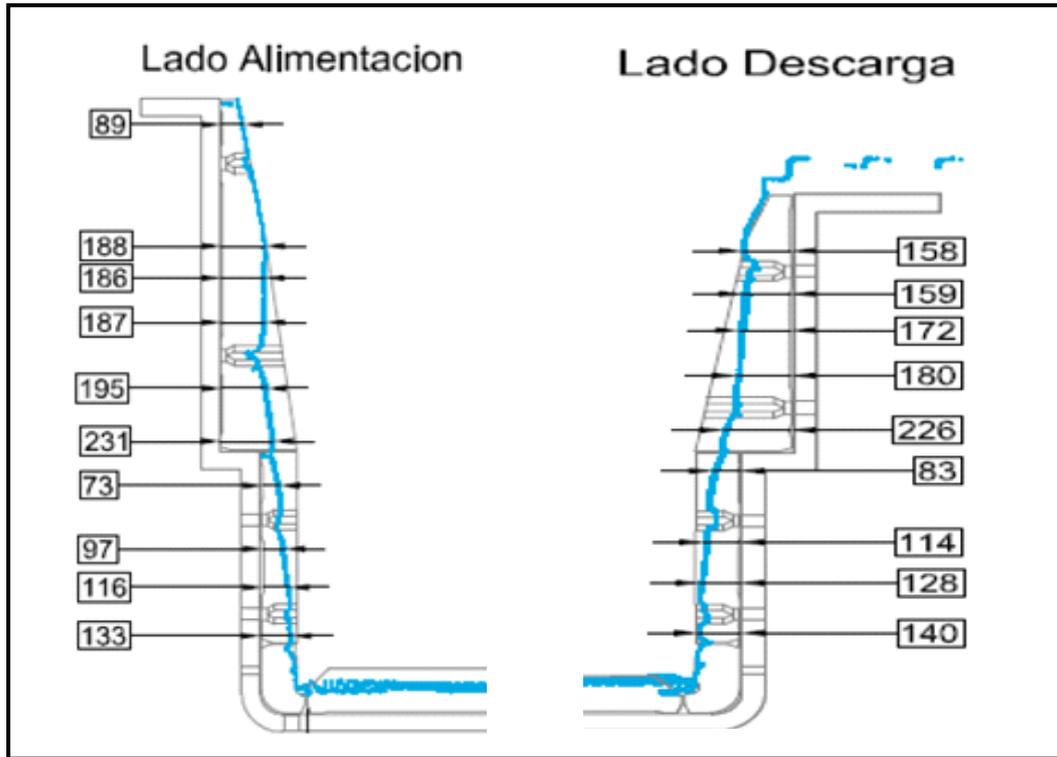


Figura 16. Análisis Desgaste de tapas de alimentación - Desgaste lifter
Nota: Extraído de las mediciones de mantenimiento predictivo.

En la figura 15 y figura 16, se muestra los desgastes de modelo actual de liners tanto de la tapa de alimentación como de la descarga, identificando los puntos donde hay mayor incidencia de desgaste, estas mediciones se obtuvieron del escaneo, dando como resultados un desgaste en mm alto, lo que conlleva a un menor tiempo de vida útil y disponibilidad del molino.

4.3 Desperdicio 2: Desperdicio de pulpa

4.3.1 Descripción del desperdicio

El spider o parrilla de descarga del molino de bola tiene como función contener los chips o bolas de acero y dejar pasar la pulpa de concentrado producto de la molienda

A continuación, se presenta la ubicación y el diseño actual del spider:

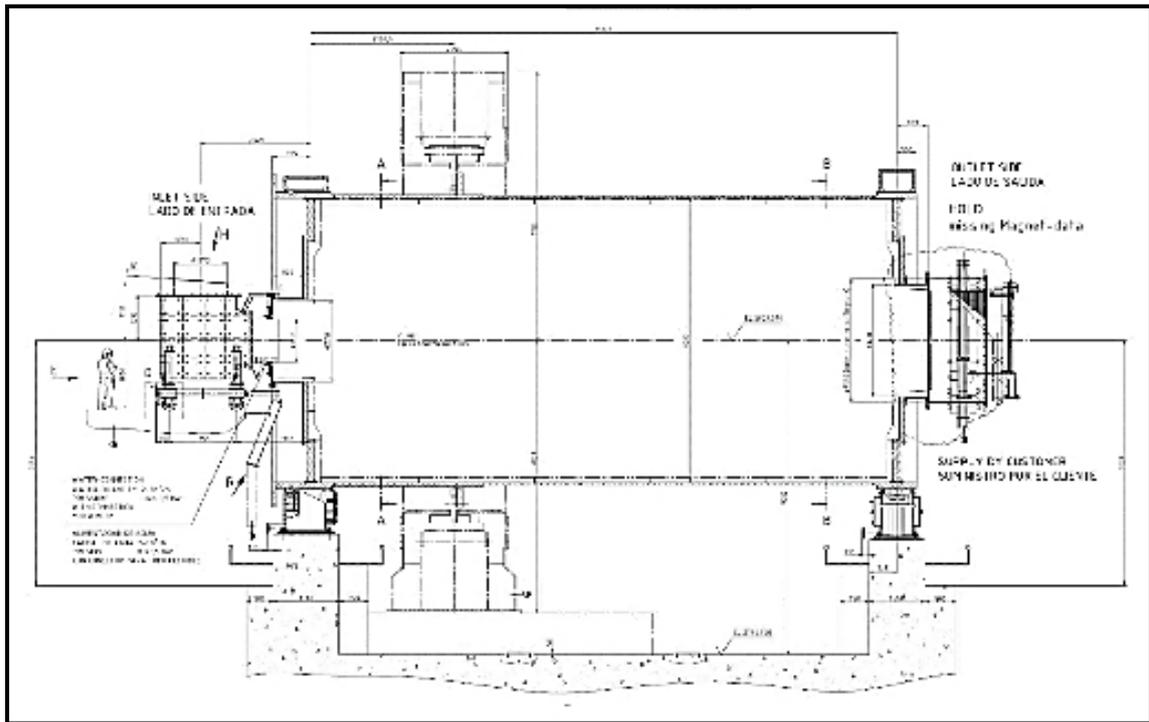


Figura 17. Ubicación del spider en el molino de bolas
Nota: Extraído del manual de operaciones de la planta concentradora.

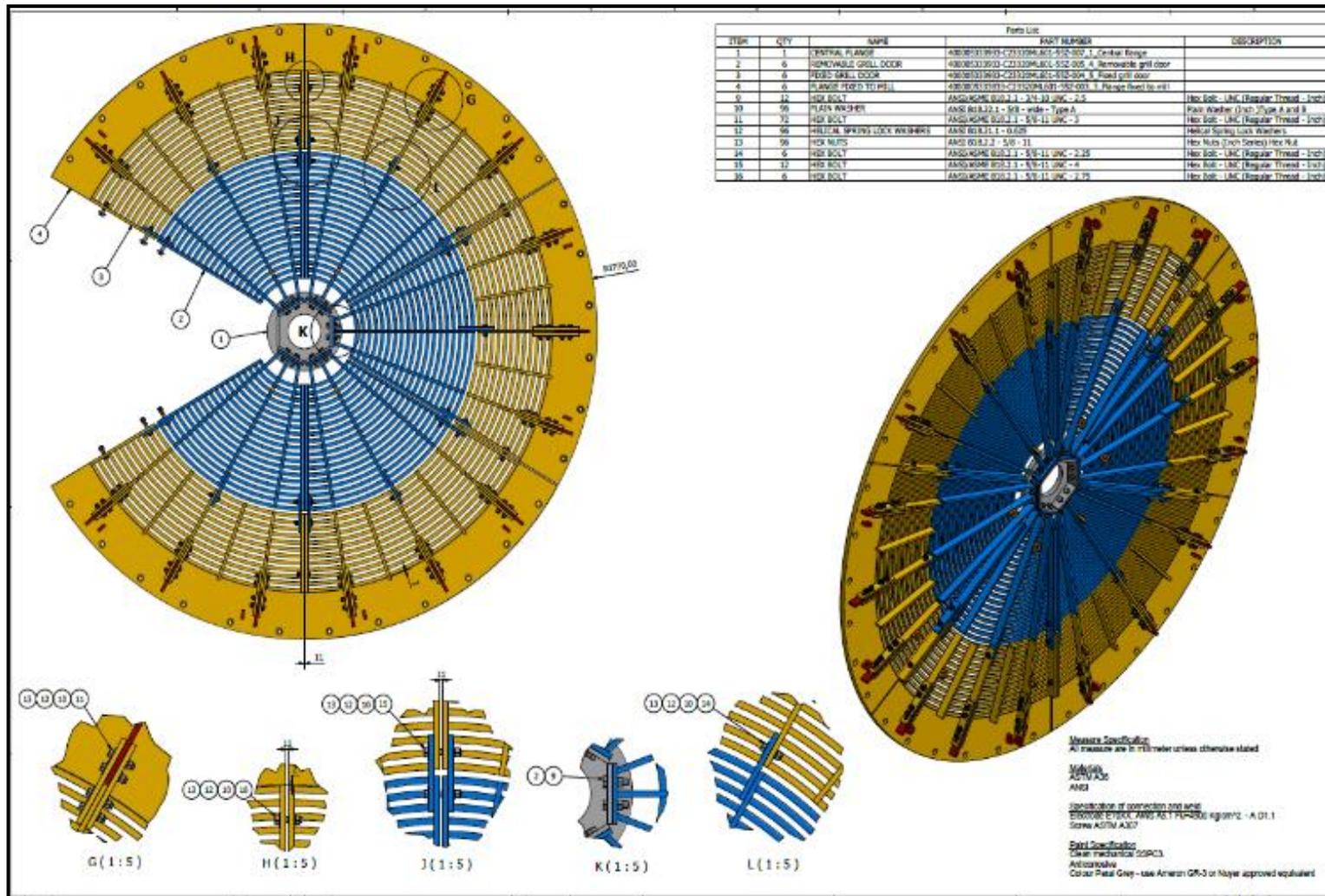


Figura 18. Diseño original del spider del molino de bolas
 Nota: Elaboración propia.



Figura 19. Rotura de spider
Nota: Imagen tomada en planta.

El modelo original (Figura 21) tenía una falla recurrente que originaba la rotura total del spider durante el arranque de cualquiera de los 6 molinos de C2 (figura 22), ocasionando detenciones promedio de 10 horas para su cambio.



Figura 20. Atoro de chips en las barras
Nota: Imagen tomada en planta.

En las fotos de la figura 23 se observa como los chips se atorán en la malla de descarga, generando la rotura del spider y desperdicio de la pulpa.

En la figura 24 se observa que las placas de fijación también sufren daños cuando se atorán los chips.



Figura 21. Roturas de las placas de fijación
Nota: Imagen tomada en planta

4.3.2 Identificación de las causas

A raíz de las inspecciones visuales durante los continuos trabajos de mantenimiento se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El spider estaba formado por una sola pieza completa, que incluía el spider y el porta spider, lo que dificultaba enormemente las tareas de mantenimiento.
- Al retirarse el spider del molino de bolas, se observaba que el porta spider no tenía similar desgaste que el spider.
- Sección de la barra es rectangular.

La metodología usada es un análisis geométrico dimensional del área de resistencia de sujeción, se determina que solo uno de los dos pernos trabajaba a tensión, la modificación abarcó el incremento del área de resistencia y el nacimiento de un perno nuevo trabajando en paralelo

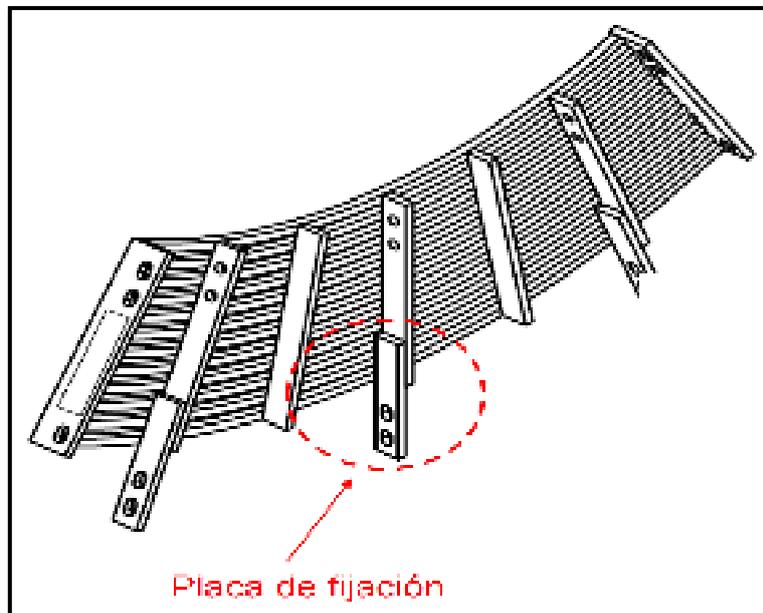


Figura 22. Placas de fijación
Nota: Elaboración propia.

4.3.3 Selección de la mejora

Se plantea realizar las siguientes modificaciones en la parrilla de descarga (spider) del molino de bolas.

- Modificación de los sujetadores entre el spider y porta spider.
- Reducción del centro de la malla del spider.
- Cambio del perfil de malla.

CAPÍTULO V

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MEJORAS

5.1 Desperdicio 1: Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga (chute)

5.1.1 Planear

De la situación actual de los lanners se seleccionó realizar la modificación del diseño.

A. Identificación de las causas

Para la identificación de las causas se utilizó esquemas de mapas mentales identificando los diferentes aspectos del problema a diferentes niveles y haciendo propuestas, se dividió en ideas primarias y secundarias, este trabajo se realizó con participación del área de mantenimiento.

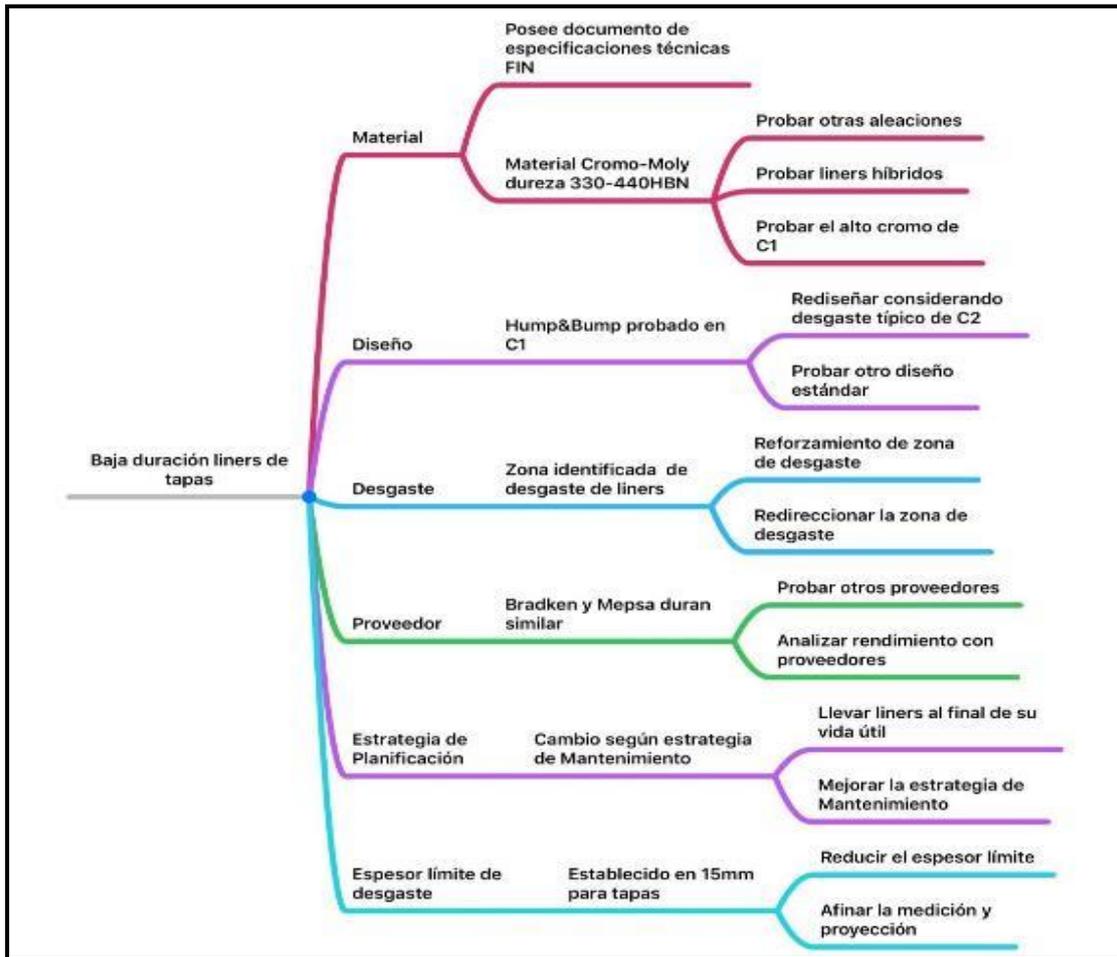


Figura 23. Análisis de las causas desde el punto de vista del área de mantenimiento
Nota: Elaboración propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento.

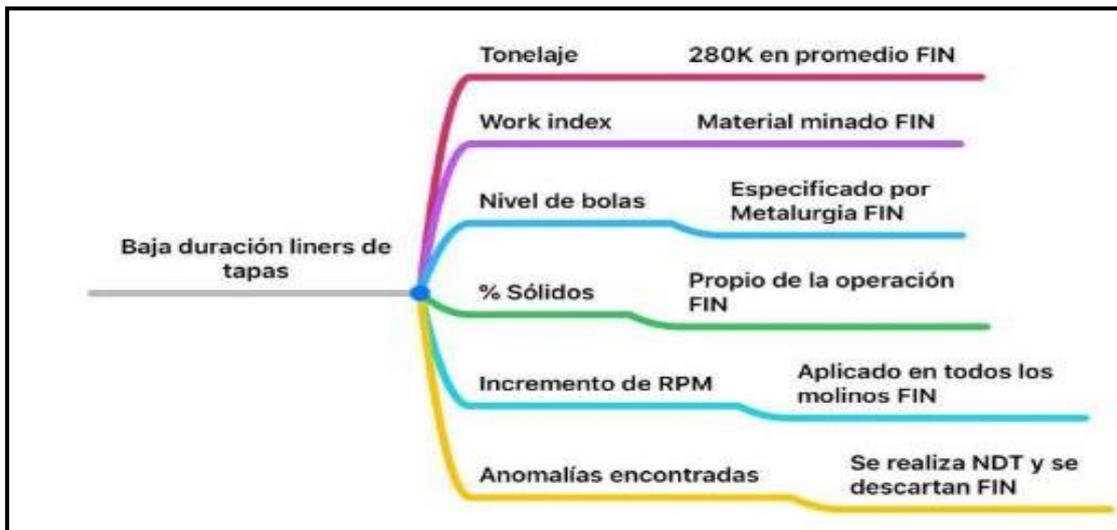


Figura 24. Análisis de causas desde el punto de vista de operaciones.
Nota: Elaboración propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento.

B. Selección de alternativa propuesta

Para definir cuál es la alternativa que se implementará, se realizó un análisis por parte de los expertos del área de mantenimiento, seleccionando según el criterio de conocimiento y viabilidad la mejor opción de las presentadas.

Se dio un orden a las 13 alternativas.

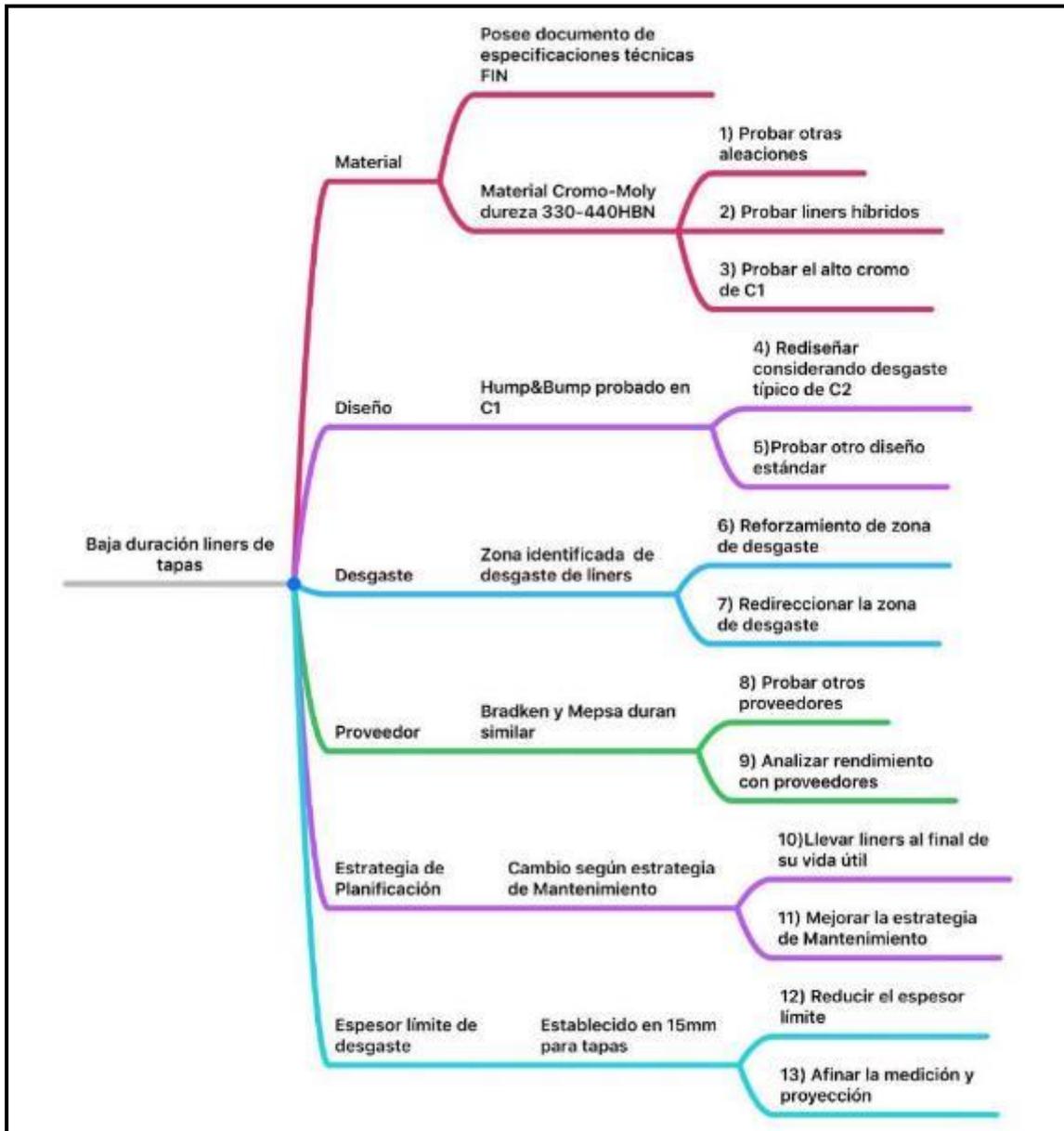


Figura 25. Alternativas a evaluar

Nota: Elaboración propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento.

De la figura 25, se obtienen las alternativas finales de solución, después de haber realizado el análisis hasta en tres niveles de profundidad. Estas alternativas fueron puestas a evaluación por el grupo de expertos para la respectiva priorización.

En la tabla 4, se muestra el diagrama de selección por experto.

Tabla 4.

Matriz de selección de solución propuesta

Ítem	Expertos				Total
	Ybazeta	Ocampo	Vílchez	Verastegui	
1	X				1
2			X		1
3		X		X	2
4	X	X	X	X	4
5					0
6	X	X	X	X	4
7	X			X	2
8			X		1
9		X			1
10	X				1
11			X	X	2
12					0
13		X			1

Fuente: Elaboración propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

De acuerdo con la tabla 4 sobre la selección de posibles soluciones, se determina que hay dos alternativas que tiene mayor puntuación, las cuales son la alternativa 4 y la alternativa 6, ya que han sido las alternativas que los expertos coinciden deben ser implementadas por considerarse de prioridad.

- Alternativa 4: Rediseñar considerando el desgaste típico de C2.
- Alternativa 6: Reforzamiento de Zona de desgaste.

5.1.2 Hacer

Teniendo en cuenta el análisis del desgaste, se presentan las modificaciones para los nuevos diseños de los liners. En la tabla 5 y en la figura 26 se muestra las modificaciones en diferentes puntos identificados en el escaneo para incremento o disminución de espesor.

Tabla 5.

Modificaciones en medidas realizadas en los liners

Descripción	Original(mm)	Propuesto (mm)
-------------	--------------	----------------

Placa en inners	256	300
Levantador en inners	336	400
Placa en outers	76	120
Levantador en outers	156	220

Fuente: Elaboración propia con apoyo del equipo de ingeniería de mantenimiento

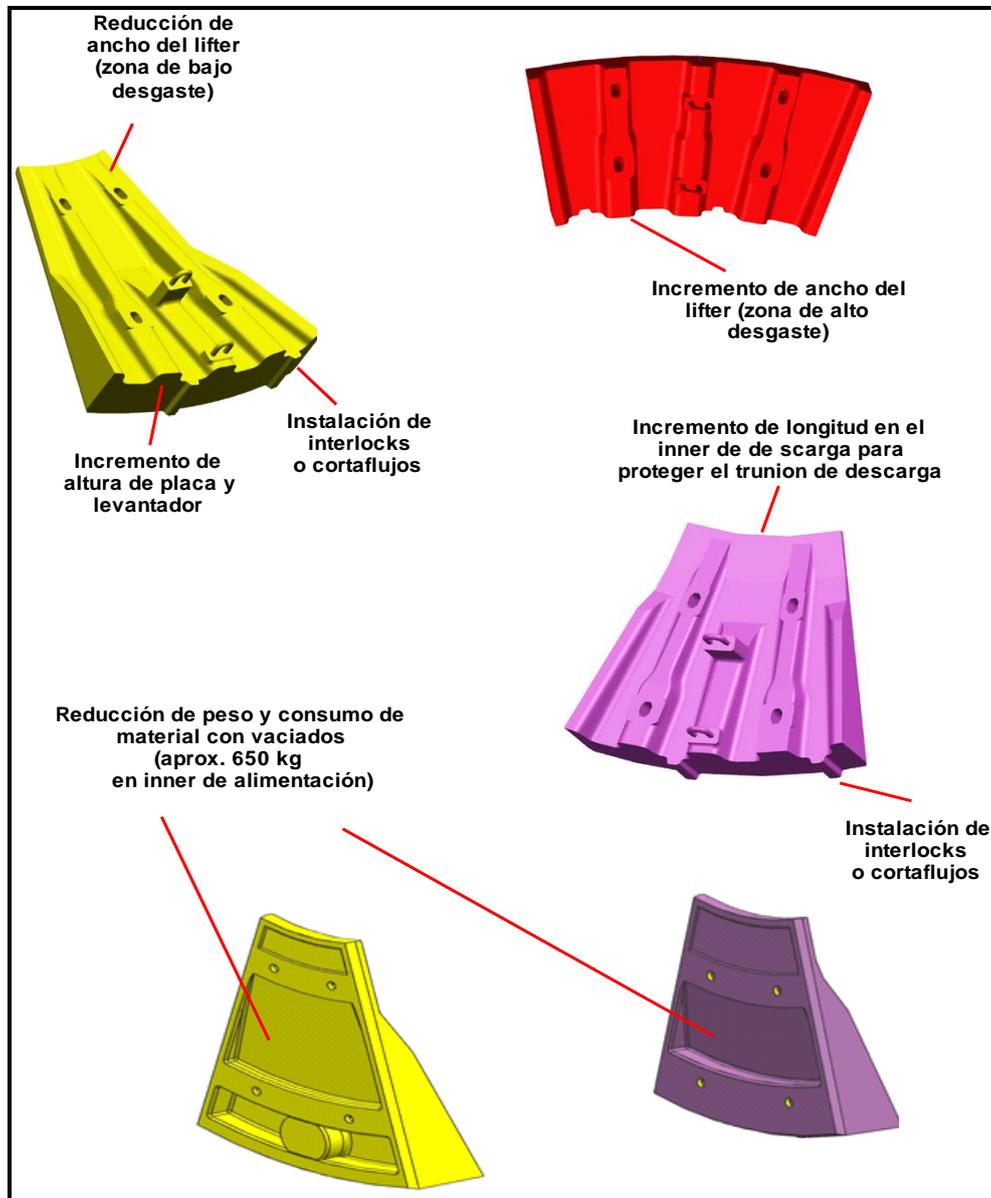


Figura 26. Modificaciones realizadas a los liners.

Nota: Elaboración propia.

5.1.3 Verificar

A. Comparativos funcionales

Un punto importante es la duración de los liners, después de realizadas las modificaciones de los mismos, en la tabla 6 se muestra el comparativo de la duración.

Tabla 6.
Comparativo de duración de liners

Modelo	Modelo actual	Modelo Propuesto
Fecha de instalación	24/03/2018	28/11/2018
Fecha de cambio	25/11/2018	22/08/2019
Duración (días)	243 (8.1 meses)	270 (9 meses)
Toneladas producidas	10,200,549	12,046,300
Espesor medido (mm)	76	120

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

Así mismo, luego de hacer las modificaciones a los liners, se hizo la medición de los desgastes son:

Tabla 7.
Comparativo de espesores

Revestimiento	Espesor modelo original				espesor modelo reforzado					
	(mm)				(mm)					
Iner feed	69	158	210		89	188	186	187	195	13 1
Outer feed	34	43	51	63	73	97	116	133		
Iner discharge	69	63	163	201	158	159	172	180	166	
Outer discharge	50	55	61	69	83	114	128	140		

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

En la tabla 7, se muestra los comparativos de los liners originales vs. Los liners reforzados y en los puntos donde se aumentó los espesores en función de mayor incidencia de carga, según nos muestra los escaneos realizados por el área de mantenimiento.

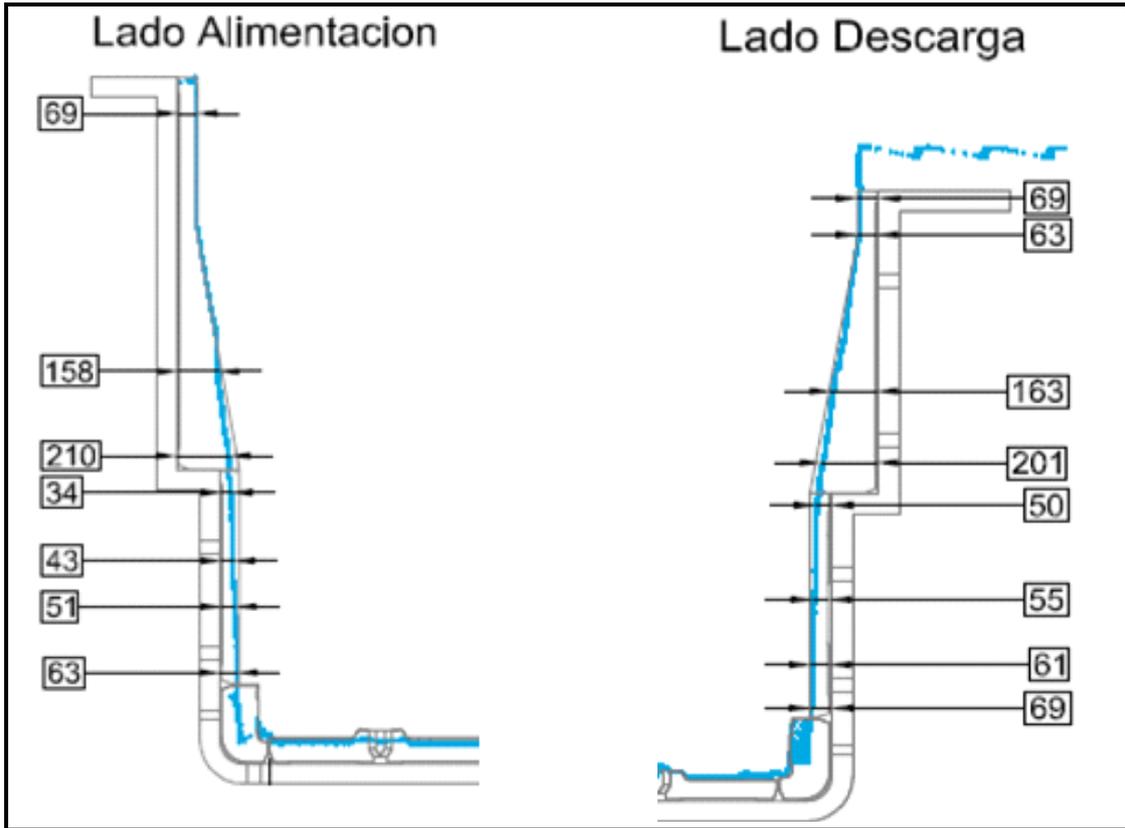


Figura 27. Análisis de desgaste en tapas de alimentación – desgaste placas modificadas.
Nota: Informe de escaneo de desgaste de mantenimiento predictivo.

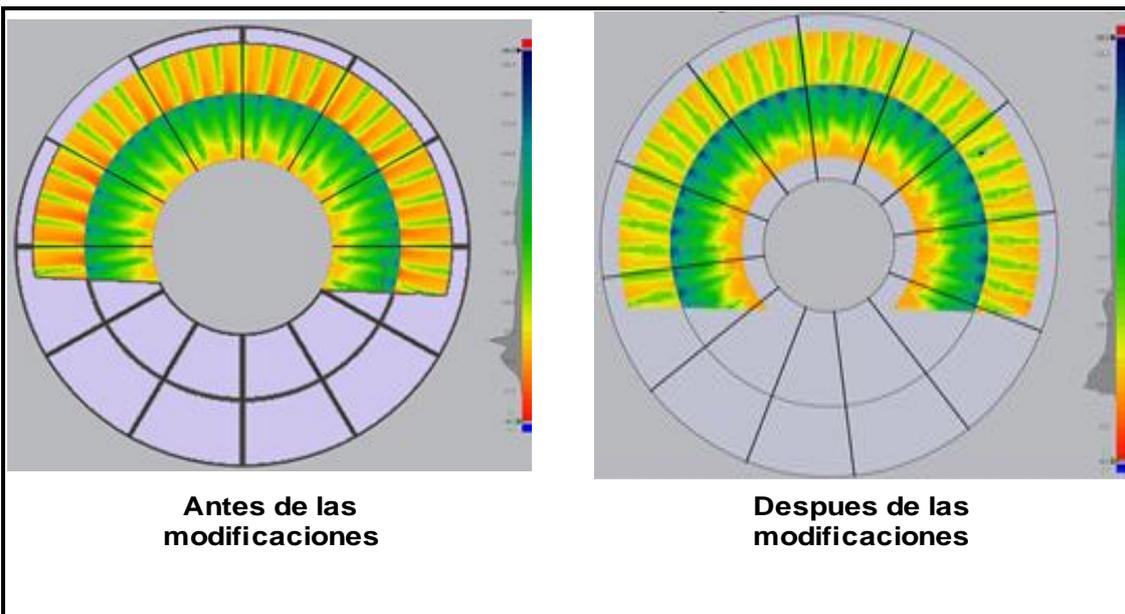


Figura 28. Escaneos comparativos del antes y después de la Implementación de la propuesta de mejora.
Nota: Informe de escaneo de desgaste de mantenimiento predictivo.

Tabla 8.

Comparativo de duración y producción

Campaña	Producción (tn)	Duración (meses)
2018	10.2	8.1
2019-1	12.1	9

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

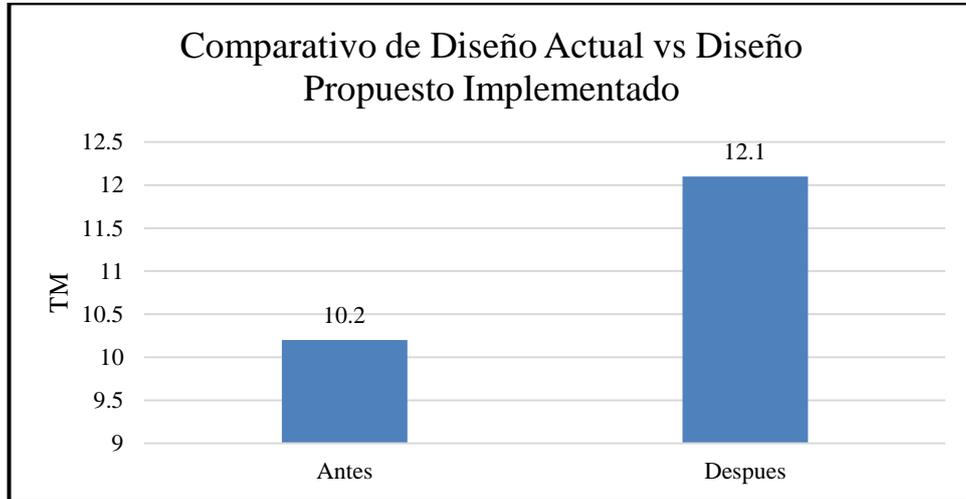


Figura 29. Comparativo de producción de los liners en TM

Nota: Información obtenida de los informes del equipo de trabajo de mantenimiento.

En cuanto a la producción, se observa que varía de 10.2 TM a 12.1 TM, incrementando la producción.

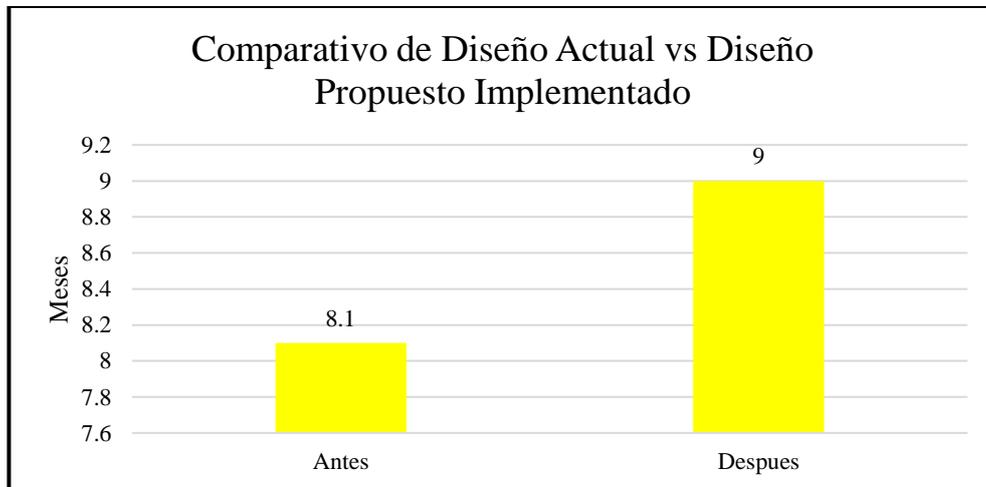


Figura 30. Comparativo de duración de los liners en meses

Nota: Información obtenida de los informes del equipo de trabajo. De mantenimiento.

De la figura 30, se observa que la duración de los liners aumento de 8.1 a 9 meses en promedio.

B. Resultados económicos de la mejora

Al ser un área dependiente y no tener producto a comercializar, se midió los resultados económicos en función al costo y al ahorro promedio anual. Se hizo una proyección en función a este para los siguientes años. En la tabla 9 se muestran los resultados.

Tabla 9.

Evaluación económica del proyecto de mejora (miles de dólares)

Periodo	2019		2020		2021		2022		2023	
	0	1	2	3	4	5				
Modelo Antiguo										
Costo de material		213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3
Servicios		21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
Reemplazo de liners		234.8	234.8							
Tiempo de vida (mes)		8	8	8	8	8	8	8	8	8
Cambios por año		9	10	7	11	10				
Costo total		2113.2	2348.0	1643.6	2582.8	2348.0				
Implementación de mejora										
Costo de material		213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3	213.3
Servicios		21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
Reemplazo de liners		234.8	234.8							
Tiempo de vida (mes)		10	12	12	12	12	12	12	12	12
Cambios por año		7	5	6	6	6	6	6	7	
Costo total		1643.6	1174.0	1408.8	1408.8	1408.8	1408.8	1408.8	1643.6	
Beneficios del proyecto		469.6	1174.0	234.8	1174.0	704.4				

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

Se observa que con la implementación de la mejora se logra obtener beneficios económicos importantes a partir del primer año de implementación.

Tabla 10.
Ahorro en liners y servicios

Item	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Costo de liners y consumibles			
Liners			
Inner tapa de alimentación	12	4,853.09	58,237.08
Outer tapa alimentación y descarga	24	3,283.62	78,806.88
Inner tapa de descarga	12	4,603.20	55,238.40
Precio total (juego completo de tapas)			192,282.36
Pernos, tapones y wedgits			
Perno cabeza ovalada, Día 2", largo 12", completo	96	63.36	6,082.56
Perno cabeza ovalada, Dia 2", largo 15", completo	96	63.37	6,083.52
Tapón de goma, Dia. 2.25"	124	1.82	225.68
Wedgit rubber, largo 60", espesor 0.5"	75	12.00	900.00
Precio total (Pernos, tapones y wedgits)			13,291.76
Trunnion de descarga			
Trunnion de descarga	1	7,720.00	7,720.00
Precio (trunnion de descarga)			7,720.00
Costo total de liners y consumibles			213,294.12
Costo por servicios			
Costo de cambio de tapas (tercero)			20,000.00
Costo de servicio NDT			1,500.00
Costo total por servicios			21,500.00
Costo total de liners y servicios			234,794.12

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

5.1.4 Actuar

Se ha podido evidenciar los beneficios de la mejora en la muestra del molino seleccionado, por lo que se espera que al ser implementado en el resto de molinos no solo los beneficios económicos se puedan alcanzar sino también los beneficios en el proceso debido al incremento de vida útil de los liners.

Se tomará las siguientes acciones:

- Extender la implementación de liners de las tapas a los otros 5 molinos
- Realizar el análisis en los liners del Shell
- Realizar el análisis en los liners del trunnion

5.2 Desperdicio 2: Desperdicio de pulpa

5.2.1 Planear

Para llegar al diseño final que optimice el funcionamiento de las tapas, se hicieron varias pruebas:

En primera instancia se realizan las siguientes modificaciones:

- Se separa el spider del porta-spider por temas de mantenibilidad y costos.
- El agujero para pernos de la unión entre el porta-spider y el spider se realizará con ojos chinos.
- Se cambia la sección de la barra de circular a cuadrada

En segunda instancia, inicia la reducción final de las detenciones en molinos.

- Se cambia la forma de anclaje del spider al porta-spider, eliminando los 02 agujeros chinos por 03 agujeros circulares.
- Se pega la última barra del spider al porta-spider para proteger la placa del porta-spider.

La tercera etapa se enfoca en reducir los atoros por chips para eliminar esfuerzos en el spider, por lo cual se realizan las siguientes mejoras:

- Se cambia la barra cuadrada por barra redonda para mejorar el área de descarga de chips.
- Se amplía la apertura central con tamaño proporcional al spider de C1.

5.2.2 Hacer

Se realizan las siguientes mejoras:

- Se reduce la apertura central respecto a la apertura por exceso de salida de chips.
- Se vuelve a unir las piezas para reducir los sectores de 12 a 6 sectores.

En la figura 31, 32, 33 y 34 se observan los detalles de la modificación y su ejecución.

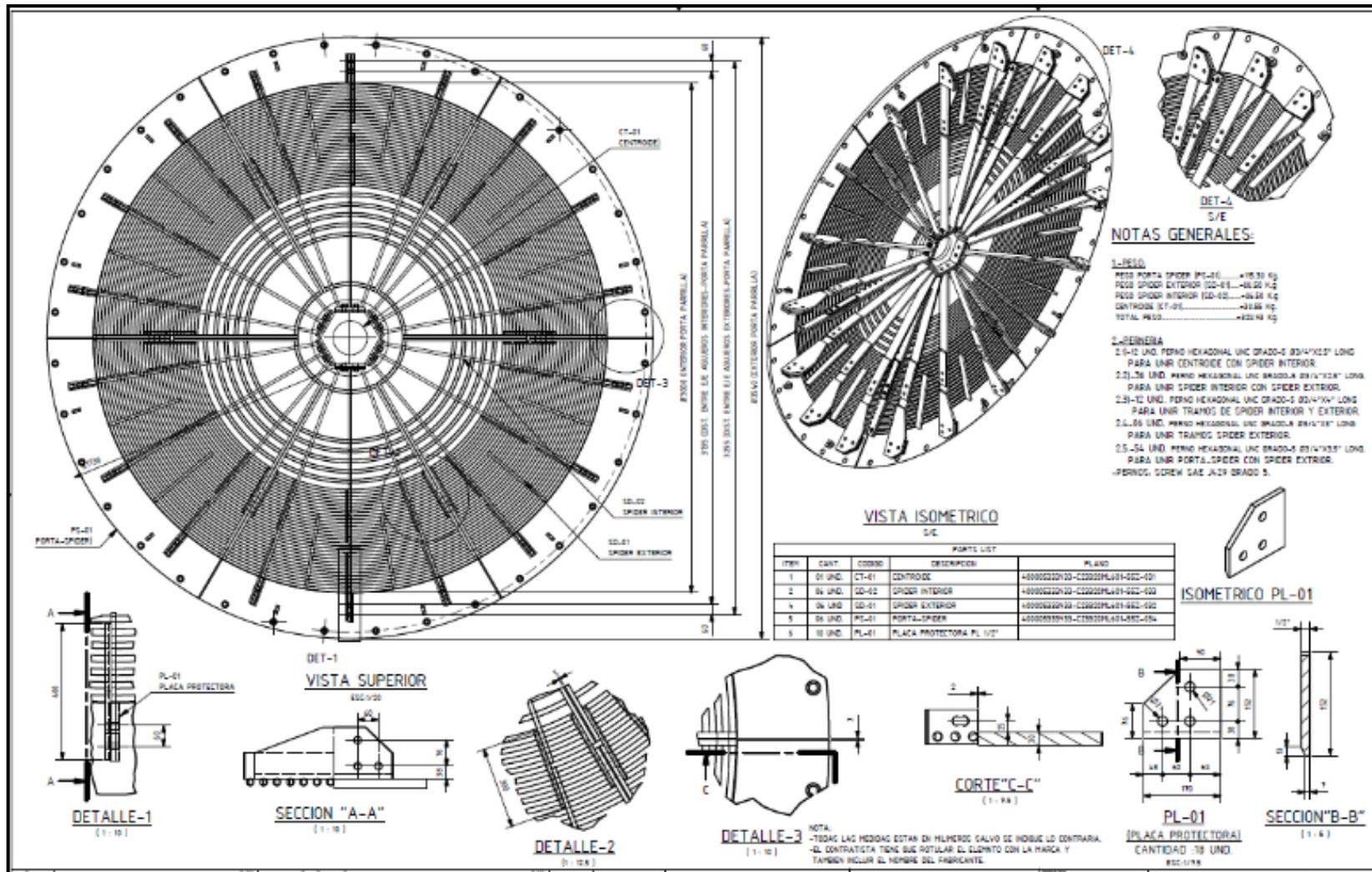


Figura 32. Modificación en la apertura central del spider del molino de bolas.
Nota: Elaboración propia.

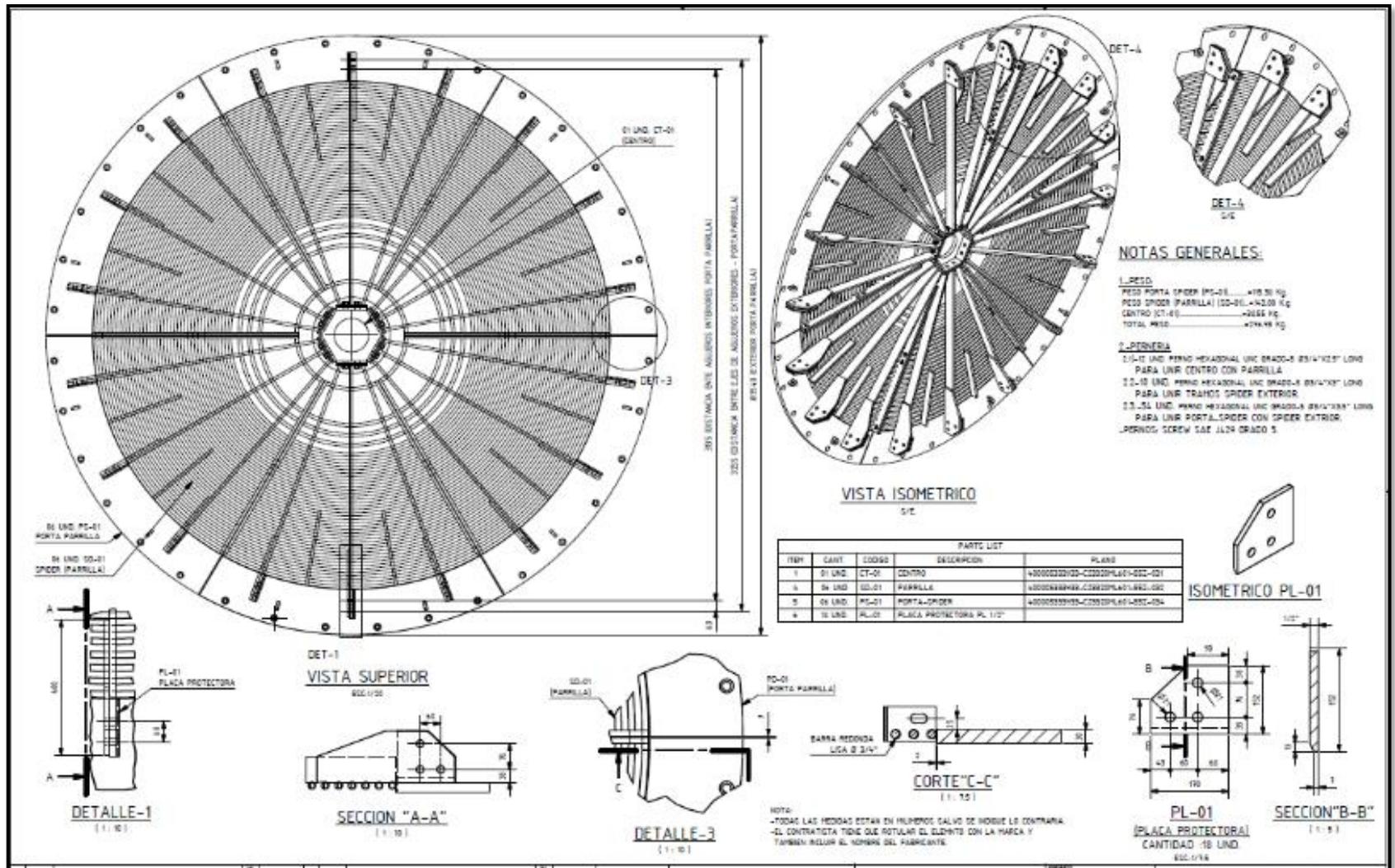


Figura 33. Reducción de la apertura central del molino de bolas.
 Nota: Elaboración propia.



Figura 34. Spider modificado del molino
Nota: Imagen tomada en planta.

En la figura 34 se observa el acabado final del spider, después de haber realizado las diversas modificaciones.

5.2.3 Verificar

A. Comparativos funcionales

- Se eliminan totalmente las paradas por rotura de spiders ante detenciones programadas o intempestivas (NO hay roturas de spider desde la generación del 3er modelo agosto – 2018 a la fecha: 1 año, 9 meses).
- Reducción de la salida de chips, originando mejoras en la descarga.
- Actualmente los spiders se cambian de manera programada cada 65 días (intervención junto con la bomba de ciclones) y su cambio dura 8 horas, cuando se cambia en conjunto con el porta spider el cambio dura 10 horas. Se cambia porta spider cada 195 días (cada 3 spiders)



Figura 35. Modelo de spider en uso
Nota: Imagen tomada en planta.

B. Resultados Económicos de la mejora

Dado que entre los meses de enero a diciembre del 2018 se tuvieron 19 paradas por este motivo, se consideran los siguientes costos:

Tabla 11.

Costos por detención del molino (diseño original)

Ítem	Costo (\$)
Cantidad de detenciones al año	19
Costo de detención por hora	36,267.20
Horas por cada detención	10
Pérdida total por detenciones de línea	6,890,768.00

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

Tabla 12.

Costo de las modificaciones en el spider

Ítem	Costo (\$)
Spider	2,100.00
Port spider	3,238.00
Total	5,338.00

Fuente: Elaboración propia con el apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

Tabla 13.*Costo por detención después de la implementación*

Ítem	Costo (\$)
Cantidad de detenciones al año	6
Costo de detención por hora	36,267.2
Horas por cada detención	10
Pérdida total por detenciones de línea	2,176,032.00

Fuente: Fuente propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento**Tabla 14.***Ahorro de la implementación de las mejoras*

Ítem	Costo (\$)
Cantidad de detenciones al año	6
Costo de detención por hora	36,267.2
Horas por cada detención	10
Pérdida total por detenciones de línea	2,176,032.00

Fuente: Fuente propia con apoyo del equipo de ingeniería del área de mantenimiento

5.2.4 Actuar

La mejora que se implementó con respecto a la modificación del spider ha dado buenos resultados teniendo beneficios significativos en ahorros. Se tomará las siguientes acciones, por lo cual se debe extender la implementación de las modificaciones del spider y el porta spider a los otros 5 molinos.

CONCLUSIONES

Conclusión general

Al desarrollar la implementación del pilar de mejoras enfocadas basadas en el Mantenimiento Productivo Total en el molino de bolas del área de molienda de una planta concentradora de cobre en la ciudad de Arequipa, se evidenció que los fallos analizados corresponden a desperdicios de la maquinaria, de los cuales se seleccionaron los más críticos (02 componentes), a través de un Focus Group de expertos, rediseñando en ambos casos las piezas analizadas, generando un beneficio económico mayor al desperdicio y alargando el periodo de vida útil de los componentes.

Conclusiones específicas

Primera. - El diagnóstico de la situación actual nos permite identificar los desperdicios del área de molienda con respecto a los molinos, dentro de los que se priorizaron: el excesivo desgaste de los liners que solo tienen un periodo de vida útil de 8.1 meses y una producción de 10.2 toneladas y el desperdicio de la pulpa, que por el diseño original del spider del molino lleva a una pérdida de \$/. 6,890,768.00.

Segunda. - Al analizar los tipos de desperdicios, se observó 13 posibles causas de las cuales se seleccionaron 02 a través del método de mapas mentales con la participación de los expertos quedando como alternativas la 4: Rediseñar considerando el desgaste típico de C2 y la alternativa 6: Reforzamiento de Zona de desgaste. Adicional se consideró el desperdicio de pulpa para rediseño del spider.

Tercera. - Se implementó el rediseño de los liners quedando las placas en inners: de 256mm a 300mm, el levantador en inners: de 336mm a 400mm, las Placas en outers: de 76mm a 120mm y el levantador en outers: de 156mm a 220mm. Asimismo en el caso del spider se redujo la apertura central por exceso de salida de chips y se vuelve a unir las piezas para reducir los sectores de 12 a 6 sectores, se cambió de sección rectangular a circular.

Cuarta. - Los beneficios de la implementación en el caso de los liners representan un ahorro de \$ 469 400 en el año 2019 y una proyección para el 2020 de \$ 1, 174,000. Para el caso del spider el beneficio se calculó en un ahorro de \$ 4,714,736.00.

RECOMENDACIONES

- El área debe realizar el análisis para los liners del Shell y del Trunnion que permitan completar y mejorar el desempeño general del molino de bolas.
- Extender la implementación de las mejoras a los otros 5 molinos de bolas con los que cuenta la empresa
- Implementar las mejoras enfocadas perdidas por preparación y ajuste y pérdidas por inactividad
- Establecer el cálculo de recuperación de la pulpa en la parte de producción debido al cambio del modelo del spider.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, R. Análisis y Mejora de la Gestión del Área de Mantenimiento Mecánico Molienda Procesos C2 de la Planta Concentradora de cobre de Sociedad Minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de Mantenimiento Productivo Total. Tesis (Bachiller en Ingeniería Industrial) . Arequipa : Universidad Continental, 2018. 119 pp. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en:

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4970>

APTEAN. Las seis grandes perdidas: Una nueva aproximación a viejos problemas en la industria del proceso [en línea] 2012. [fecha de consulta: 14 de agosto de 2019]. Disponible en:

http://www.aptean.es/assets/pdfs/resources/documents/APT%20Factory_WhitePaper%20%20Las%206%20grandes%20perdidas%20Parte%201_ES.pdf

BERNAL, C. Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales [en línea]. 3ra. ed. Bogota, Colombia: Pearson Educación. 2010. ISBN: 978-958-699-128-5. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=7-Q7XwAACA AJ&dq=Metodolog%C3%ADa+de+la+investigaci%C3%B3n:+administraci%C3%B3n,+economía,+humanidades+y+ciencias+sociales&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiayaOCwLnqAhXJIbkGHeFfBrgQ6AEwAHoECAAQAQ>

CUATRECASAS, L. y TORRELL, F.. TPM en un entorno lean management: Estrategia competitiva [en línea] Barcelona, España: Bresca Editorial S.L. 2010. ISBN: 978-849-295-612-8. [fecha de consulta: 14 de agosto de 2019]. Disponible en:

https://books.google.com.pe/books?id=n5qUDVbPA6wC&printsec=frontcover&dq=TPM+en+un+entorno+lean+management:+Estrategia+competitiva&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjnpay4wLnqAhUxJrkGHTyOC_cQuwUwAHoECAIQCA#v=onepage&q=TPM%20en%20un%20entorno%20lean%20management%3A%20Estrategia%20competitiva&f=false

DE SANTIS, A. Análisis de fallos en sistemas aeronáuticos [en línea] Madrid, España: Ediciones Paraninfo. 2015. ISBN: 978-84-283-3714-4 [fecha de consulta: 26 de julio de 2019]. Disponible en:

<https://books.google.com.pe/books?id=TdE3DQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=A>

[n% C3% A1lisis+de+fallos+en+sistemas+aeron% C3% A1uticos.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjYwf_LwLnqAhWxH7kGHd_pB6wQuwUwAHoECAIQBw#v=onepage&q=A n% C3% A1lisis% 20de% 20fallos% 20en% 20sistemas% 20aeron% C3% A1uticos.&f=false](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2306-91552017000200005)

ESQUIVEL, Á., LEÓN, R. y CASTELLANOS, G. Mejora continua de los procesos de gestión del conocimiento en instituciones de educación superior ecuatorianas. *Scielo*. [en línea]. 2017, 11(2), 56-72. [fecha de consulta: 26 de julio de 2019] ISSN 2306-9155. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2306-91552017000200005

GARCÍA, S. Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de de gestión avanzados de mantenimiento industrial [en línea] Madrid, España: Díaz de sistemas Santos, 2006. ISBN: 978-847-978-548-2 [fecha de consulta: 30 de julio de 2019]. Disponible en: [.https://books.google.com.pe/books?id=PUovBdLi-oMC&pg=PR4&dq=Organizaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+integral+de+mantenimiento:+manual+pr%C3%A1ctico+para+la+implantaci%C3%B3n+de+sistemas+de+gesti%C3%B3n+avanzados+de+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi77c6TwbngAhVpFbkGHSPzBqEQwUwAHoECAUQBw#v=onepage&q=Organizaci%C3%B3n%20y%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20mantenimiento%3A%20manual%20pr%C3%A1ctico%20para%20la%20implantaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20avanzados%20de%20mantenimiento%20industrial&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=PUovBdLi-oMC&pg=PR4&dq=Organizaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+integral+de+mantenimiento:+manual+pr%C3%A1ctico+para+la+implantaci%C3%B3n+de+sistemas+de+gesti%C3%B3n+avanzados+de+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi77c6TwbngAhVpFbkGHSPzBqEQwUwAHoECAUQBw#v=onepage&q=Organizaci%C3%B3n%20y%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20mantenimiento%3A%20manual%20pr%C3%A1ctico%20para%20la%20implantaci%C3%B3n%20de%20sistemas%20de%20gesti%C3%B3n%20avanzados%20de%20mantenimiento%20industrial&f=false)

GONZÁLES, C., DOMINGO, R. y SEBASTIAN, M. Cuadernos de la UNED: Técnicas de mejora de la calidad [en línea] Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013. [fecha de consulta: 21 de agosto de 2019]. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?id=eKMOLUKeIr0C&printsec=frontcover&dq=Cuadernos+de+la+UNED:+T%C3%A9cnicas+de+mejora+de+la+calidad.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiZlOotwbngAhX6K7kGHS2ACrsQ6AEwAHoECAYQAg#v=onepage&q=Cuadernos%20de%20la%20UNED%3A%20T%C3%A9cnicas%20de%20mejora%20de%20la%20calidad.&f=false>

GOMEZ, C. Mantenimiento productivo total: Una visión global [en línea] Las Palmas de Gran Canaria, España: Universidad de las Palmas e Gran Canaria, 2019 [fecha de consulta: 14 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://books.google.com.pe/books?id=IPtzAgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Man>

[tenimiento+productivo+total:+Una+visi%C3%B3n+global&hl=es&sa=X&ved=2ahUK EwiAu5O-wbnqAhXZHLkGHfXiBysQuwUwAHoECAyQBg#v=onepage&q=Mantenimiento%20productivo%20total%3A%20Una%20visi%C3%B3n%20global&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=bOrFC3532MEC&printsec=frontcover&dq=GOMEZ,+F%20Tecnolog%C3%ADa+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUK EwiAu5O-wbnqAhXZHLkGHfXiBysQuwUwAHoECAyQBg#v=onepage&q=Mantenimiento%20productivo%20total%3A%20Una%20visi%C3%B3n%20global&f=false)

GOMEZ, F. Tecnología del mantenimiento industrial [en línea] Murcia, España: Universidad de Murcia, 1998. ISBN: 84-8371-008-0. [fecha de consulta: 21 de agosto de 2019].

Disponible en :

<https://books.google.com.pe/books?id=bOrFC3532MEC&printsec=frontcover&dq=GOMEZ,+F%20Tecnolog%C3%ADa+del+mantenimiento+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjVjclWbnqAhUcIbkGHSZVD2cQuwUwAHoECAyQBg#v=onepage&q=GOMEZ%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20mantenimiento%20industrial&f=false>

GROVER, M. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas [en línea] México D.F. México: Prentice Hall Hispanoamericana. 1997. ISBN: 968-880-846-6. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en :

<https://books.google.com.pe/books?id=tcV0l37tUr0C&printsec=frontcover&dq=GROVER,+Mikell.+Fundamentos+de+manufactura+moderna:+Materiales,+procesos+y+sistemas.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiarsPcwbqAhUHlBkGHRGXDpcQ6AEwAHoECAyQBg#v=onepage&q&f=false>

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., BAPTISTA, P., MÉNDEZ, S. y MENDOZA, C.

Metodología de la investigación [en línea] 6.^a ed. México DF, México: McGraw-Hill Education.2014. ISBN: 978-145-622-396-0 [fecha de consulta: 08 de agosto de 2019].

Disponible en : <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

MORA, L. Mantenimiento: Planeación, ejecución y control [en línea] México DF, México:

Alfaomega, 2009. ISBN: 978-958-682-769-0. [fecha de consulta: 22 de agosto de 2019]. Disponible en :

<https://books.google.com.pe/books?id=TYc3DQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=MORA,+Luis.+Mantenimiento:+Planeaci%C3%B3n,+ejecuci%C3%B3n+y+control.&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7gP6EwrnqAhWqIbkGHUQ9Ds4Q6AEwAHoECAyQBg#v=onepage&q&f=false>

- PACHON, E., ACOSTA, F. y MILAZZO, M. Economía y política 1 [en línea] Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma. 2005. ISBN: 958-04-6768-4. [fecha de consulta: 08 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://books.google.com.pe/books?id=m2V0hwwzMzIC&pg=PA1&dq=PACHON,+Efra%C3%ADn,+ACOSTA+Fabi%C3%A1n+y+MILAZZO,+Mauricio,+Econom%C3%ADa+y+pol%C3%ADtica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjx7L2xwrnqAhXPGbkGHetKDnoQuwUwA3oECAQQBg#v=onepage&q=PACHON%2C%20Efra%C3%ADn%2C%20ACOSTA%20Fabi%C3%A1n%20y%20MILAZZO%2C%20Mauricio.%20Econo%C3%ADa%20y%20pol%C3%ADtica&f=false>
- PARRADO, P. y SÁNCHEZ, J. Estructuración e implementación del pilar de mejora enfocada en Tetra Pack Colombia. Tesis (Titulo en Ingeniería Industrial). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2004. 121pp. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis152.pdf>
- PORTAL, E. y SALAZAR, P. Propuesta de implementación de mantenimiento productivo total (TPM) en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad operativa de los equipos de movimiento de tierras en la empresa Multiservicios Punre SRL, Cajamarca 2016 Tesis (Titulo en Ingeniería Industrial). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. 2016. 111 pp. [fecha de consulta: 11 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9892>
- RODRIGUEZ, C. Propuesta de mejora enfocada bajo una gestión TPM, para reducir las pérdidas económicas de área de impresión en Norsac S.A. Tesis (Titulo en Ingeniería Industrial). Trujillo, Perú: Universidad Privada del Norte, 2017. 105 pp. [fecha de consulta: 11 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12719>
- ROJAS, M.. Implementación de los pilares TPM (Mantenimiento total productivo) de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo, en la planta de producción Ofixpres S.A.S. Tesis (Titulo en Ingeniería Industrial). Bucaramanga, Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2011. 108 pp. [fecha de consulta: 10 de agosto de 2019]. Disponible en : <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/1711>
- SCHETTINO, M. Introducción a la economía para no economistas [en línea] México DF, México: Pearson Educación. 2002. ISBN: 970-26-0376-5. [fecha de consulta: 11 de agosto de 2019]. Disponible en :

<https://books.google.com.pe/books?id=BsPNZVgz6d8C&printsec=frontcover&dq=SCHETTINO,+Macario.+Introducci%C3%B3n+a+la+econom%C3%ADa+para+no+economistas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjlx-r0w7nqAhUqJrkGHV10DQgQuwUwAHoECAYQBg#v=onepage&q=SCHETTINO%20Macario.%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20econom%C3%ADa%20para%20no%20economistas&f=false>

SUZUKI, Tokutaro. TPM en industrias de procesos [en línea] Madrid, España: TGP-Hoshin - Productivity Press, 1996. ISBN 978-848-702-218-0 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2019] Disponible en :

<https://books.google.com.pe/books?id=tLU4DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=SUZUKI,+Tokutaro.+TPM+en+industrias+de+procesos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjLreCGxLnqAhUFibkGHVZMB1UQuwUwAHoECAYQBw#v=onepage&q=SUZUKI%20Tokutaro.%20TPM%20en%20industrias%20de%20procesos&f=false>

TORRES, G. Contabilidad, costos y presupuestos para gestión financiera - Edición actualizada con IFRS [en línea] 3.^a ed. Santiago de Chile, Chile: Thomson Reuters, 2011. ISBN : 978-956-346-009-4 [fecha de consulta: 20 de agosto de 2019] Disponible en :

https://www.academia.edu/4937912/Contabilidad_Costos_y_Presupuestos_-_3Ed_-_Gabriel_Torres_Salazar

APÉNDICE 1

De acuerdo a un trabajo preliminar de investigación presentado por el autor de la presente tesis, se identificaron bajo la técnica del TPM los desperdicios que ocurrían en la Planta de Molienda, cuyo resumen se muestra en el cuadro 11.

Tabla 15.

Pérdidas encontradas en el área de molienda

Pilar TPM	Tema	Pérdida
Pilar de mejoras enfocadas	Pérdidas por preparación y ajustes	Información técnica no disponible
		Mala planificación de trabajos previos
		Falta feed back de tareas realizadas
	Pérdidas por inactividad o paradas menores	Tiempos muertos en tareas de mantenimiento
		Paradas por mala coordinación
		Cambios de trabajos por paradas de oportunidad
	Pérdidas por reducción de velocidad	Sellado de chute de alimentación
		Retiro de pernos de revestimiento
		Bancos de acumuladores de Nitrógeno
		Desgaste del revestimiento de la parrilla de descarga
Desperdicio de pulpa		
Pilar capacitación y educación	Pérdidas por calidad y trabajos repetitivos	Reprogramar tareas de mantenimiento mal realizadas
Pilar control inicial	Pérdidas por puesta en marcha	No hay periodo de prueba de nuevos materiales

Fuente: Tesis para optar por el grado de bachiller “Análisis y mejora de la gestión del área de mantenimiento mecánico molienda procesos C2 de la planta concentradora de cobre de sociedad minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de mantenimiento productivo total” presentada por Roberto Aguilar.

Tabla 16.*Priorización de pérdidas del área de molienda.*

Pérdida	Expertos				Total
	Ybazeta	Ocampo	Vilchez	Verastegui	
Información técnica no disponible			x		1
Mala planificación de trabajos previos		x		x	2
Falta feed back de tareas realizadas	x				1
Tiempos muertos en tareas de mantenimiento				x	1
Paradas por mala coordinación	x			x	2
Cambios de trabajos por paradas de oportunidad			x		1
Sellado de chute de alimentación			x	x	2
Retiro de pernos de revestimiento				x	1
Bancos de acumuladores de Nitrógeno	x	x			2
Desgaste del revestimiento del chute	x		x	x	3
Desperdicio de pulpa		x	x	x	3
Reprogramar tareas de mantenimiento mal realizadas			x		1
No hay periodo de prueba de nuevos materiales		x			1

Fuente: Tesis para optar por el grado de bachiller “Análisis y mejora de la gestión del área de mantenimiento mecánico molienda procesos C2 de la planta concentradora de cobre de sociedad minera Cerro Verde Arequipa basado en la filosofía de mantenimiento productivo total” presentada por Roberto Aguilar.

ANEXO 1

En la tabla 13 se presenta las especificaciones técnicas del molino de bolas.

Tabla 17.

Especificaciones del molino de bolas

Especificaciones generales	
Marca	Polysius
Modelo	8.2D x 14.6 m
Tipo	TM - M - S
grado total de llenado de la cámara	34%
Nivel de emisión sonora	>85 db (A)
Densidad aparente (t/m ³)	1.5
Granulometría máxima	2.8
Sistema de accionamiento	
Marca	ALSTOM
Potencia	22,000
Velocidad de giro (RPM)	11.2
Freno	
Marca	Svendborg brakes
Tipo	BSFA1110
Sistema de lubricación	
Dimensiones (mm)	4094 x 5514
Tipo de acumulador	IHV 50-330/90 - 330 - AA25 - 13 - 002
Presión de aceite máx. (tubería alta presión)	100 bar
Presión de aceite máx. (tubería baja presión)	12 bar

Fuente: Departamento de mantenimiento de la empresa minera.