

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE VIÑA DEL MAR JOSE MIGUEL CARRERA**

**PROPUESTA DE MEJORA DE REVESTIMIENTOS EN CAJON DE TRASPASO DE
CELDAS DE FLOTACION COLECTIVA ROUGHER Y SCAVENGER DE LA PLANTA
CONCENTRADORA DE MINERA LUMINA COOPER CHILE CASERONES**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL

Alumno:

Israel Elías Aguirre Sánchez

Profesor Guía:

Mg. Ing. Vanesa Mella Lorca

2023

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios quien guía mis pasos en todo sentido, me sostiene y no me ha abandonado en este proceso, a mi esposa que siempre esta a mi lado para brindarme apoyo y aliento e instarme a continuar, a mis padres y hermanas que nunca han dejado de confiar en mi y brindarme su incondicional apoyo.

Espera, oh Israel, en Jehová,
Desde ahora y para siempre.
Salmos 131:3

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN.....	2
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	4
1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	5
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	5
1.1.1. Ubicación Geográfica	5
1.1.2. Proceso.....	5
1.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA.....	6
1.2.1. Celdas de Flotación Colectiva Rougher y Scavenger.....	7
1.2.2. Celdas Columnares.....	9
1.2.3. Batería de Hidrociclones.....	10
1.2.4. Molinos Verticales.....	10
1.2.5. Bombas	11
1.3. DESCRIPCION DEL PROCESO.....	13
1.4. PROBLEMÁTICA	16
1.5. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CAJÓN CONVENCIONAL.....	21
CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE NUEVO REVESTIMIENTO INTERNO PARA CAJÓN DE TRSPASO.	22
2. PROPUESTA DE NUEVO REVESTIMIENTO INTERNO PARA CAJÓN DE TRSPASO.	23
2.1. Análisis de modos de fallas, efectos de falla y su criticidad.....	23
2.1.1. Construcción AMFEC / FMECA	23
2.2. Tipos de Revestimientos.....	26

2.2.1.	Revestimiento actual de cajones convencionales línea 1, 2 y Scavenger	26
2.2.2.	Revestimiento actual cajón final línea Scavenger	28
2.2.3.	Conclusiones comparativas	29
2.3.	Modalidad de Revestimientos para cajones seccionados.....	31
2.4.	Mantenibilidad	34
2.4.1.	Mejoras de Mantenibilidad.....	34
2.4.2.	Actividades de Mantenimiento cajón seccionado.	35
2.5.	Fabricación de cajón seccionado.....	36
CAPÍTULO 3: ANALISIS ECONÓMICO.....		37
3.	ANALISIS ECONOMICO	38
3.1.	Valores asociados.....	38
3.1.1.	Valores asociados al cajón convencional	38
3.1.2.	Valores asociados al cajón seccionado	39
3.2.	Análisis comparativo de Flujos de caja.....	40
3.2.1.	Flujo de caja cajón convencional.....	40
3.2.2.	Flujo de caja cajón Seccionado.....	1
3.2.3.	Comparación de flujos y cálculo de VAN.....	1
3.3.	Conclusiones análisis cuantitativo	1
CONCLUSIÓN		2
ANEXOS.....		3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ubicación geográfica Caserones	5
Figura 1-2. Pantalla de control operacional concentradora.....	7
Figura 1-3: Manto celdas flotación	8
Figura 1-4. Sistema motriz celdas	9
Figura 1-5. Celdas de flotación Cleaner.....	9
Figura 1-6. Batería de hidrociclones.	10
Figura 1-7. Molinos verticales 1 y 2	11
Figura 1-8. Grupos de bombas 4250 y 4230	12
Figura 1-9. Cajón recepción relaves.....	14
Figura 1-10. Cajón 4250-ZM-002 molinos verticales.....	15
Figura 1-11. Cajón distribución celdas columnares	16
Figura 1-12. Cajón de traspaso convencionales previo a su instalación	17
Figura 1-13. Jack Knife.....	18
Figura 1-14. Cajón de traspaso vista externa	19
Figura 2-1: Zona de alta turbulencia dentro del cajón.....	27
Figura 2-2: Zona de alta presión dentro del cajón.....	28
Figura 2-3: Placa de desgaste	31
Figura 2-4: Placa de desgaste tipo lifter	33
Figura 2-5: Vista isométrica cajón seccionado	33
Figura 2-6: Vista frontal cajón seccionado.....	34
Figura 2-7: Cajones seccionados nuevos para montaje el 31/05/2023.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Bombas planta flotación.	13
Tabla 1-2: Cuadro comparativo de costos pasta cerámica	20
Tabla 1-3: Detalle HH para MM, costos en CLP.....	20
Tabla 1-4: Actividades de mantenimiento Cajón convencional.....	21
Tabla 2-1: Matriz Ocurrencia.....	23
Tabla 2-2: Matriz Severidad.....	24
Tabla 2-3: Matriz Detección.....	24
Tabla 2-4: AMFEC Celda de Flotación	25
Tabla 2-5: Datos cajones convencionales, costos en USD.....	27
Tabla 2-6: Datos cajón seccionado, costos en USD.....	29
Tabla 2-7: Detalle HH para MM, costos en CLP	29
Tabla 2-8: Comparativa Indicadores de mantenimiento y costos (en USD).....	30
Tabla 2-9: Comparativa costos HH para Mantenimientos Mayores, costos en CLP	30
Tabla 2-10: Actividades de mantenimiento cajón seccionado	35
Tabla 3-1: Costos cajón convencional.....	38
Tabla 3-2: Costos cajón seccionado	39
Tabla 3-3: Flujo de caja cajón convencional.....	1
Tabla 3-4: Flujo de caja cajón seccionado opción 1	1
Tabla 3-5: Flujo de caja cajón seccionado opción 2	1
Tabla 3-6: Flujo de caja cajón seccionado opción 3	1
Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 1.....	1
Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 2.....	1
Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 3.....	2

INTRODUCCIÓN

En minería es ampliamente utilizado el revestimiento interno de componentes, dentro de los revestimientos mas utilizados encontramos el caucho, caucho-cerámico y algunas aleaciones ferrosas.

Esto se hace con el fin de extender la vida útil de los componentes, otorgándoles una mayor resistencia a las condiciones de desgaste y abrasión, además de reducir el coste de repuestos y también ayuda a reducir el peso de los equipos, facilitando las mantenciones.

Esta medida de mitigación es usada en interiores de volutas de bombas, ductos, cajones de traspaso, equipos de cosminución, (chancado, molineda y remolienda), chutes de descarga, baterías de hidrociclones, etc.

En la siguiente investigación, se analizara la factibilidad de realizar un cambio en le tipo de revestimiento de los cajones de traspaso de las celdas de flotación, producto de la constante falla de estos, de esta manera mitigar las perdidas a la empresa por no producción debido a la inactividad de los equipos de planta

RESUMEN

La Compañía minera Caserones consiste en una explotación a rajo abierto con una planta para producir concentrado de cobre y molibdeno a partir de sulfuros primarios y una planta de extracción por solvente y electro obtención (SX-EW), para producir cátodos de cobre mediante el procesamiento de minerales mixtos y sulfuros secundarios.

El área de flotación colectiva es un proceso esencial en la planta concentradora, ya que, con la recuperación de cobre por medio de las celdas de flotación, se puede tener una de las ganancias más importantes de la compañía minera Caserones, parte fundamental del proceso operativo, ya que actualmente se cuenta con un 90% de recuperación de cobre, y es el mejor resultado en la historia de la compañía.

Por parte del departamento de mantenimiento, se debe gestionar el conservar la vida útil y óptima en los activos más relevantes del proceso, por eso es primordial el proyecto que se dará a conocer, ya que se centra en disminuir las detenciones no programadas de las celdas de flotación. Basado en la constante falla de los cajones de traspaso entre los TK de las celdas.

Durante el transcurso de este último año los cajones de traspaso en promedio han sufrido fallas cada 3 semanas, lo cual significa la detención de una de las 2 líneas Rougher de la planta, para entrar en un tiempo de reparación de 12 horas, en los que en algunos casos se debe incurrir en horas de limpieza antes de la reparación.

Actualmente se realizan ensayos no destructivos de ultrasonido solamente al manto del TK de la celda, dejando de lado el cajón de traspaso por sus condiciones de accesibilidad y limpieza.

En la mayoría de los casos como se mencionó anteriormente la rotura de estos cajones incurre en un gran derramamiento de relave que obstruye el tránsito por los pasillos de la planta, impidiendo también de esta forma que se pueda lograr los trabajos a tiempo.

Lo que se propone en la siguiente tesis es la evaluación de un cambio de revestimiento interno de estos cajones de traspaso, actualmente cuentan con un revestimiento de caucho cerámico de 80 mm de espesor y pasta cerámica Global Flex.

Ha quedado en evidencia por la misma experiencia que no es un revestimiento eficiente para la operación, ya que en promedio es reparado unas 60 veces antes de estar programados para su cambio, el objetivo es reemplazarlo, por uno que logre cumplir con los requerimientos operativos, para de esta forma disminuir los tiempos de mantenimientos correctivos no programados.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora en cajones de traspaso de celdas de flotación colectiva, a través del cambio de los componentes internos de revestimiento, disminuyendo los tiempos de reparación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar situación actual de la planta, a través de la descripción de los equipos y el ciclo operacional, presentando la problemática que da origen a la presente investigación.

Proponer un nuevo tipo de revestimiento que sea capaz de resistir las condiciones operacionales, mediante la comparación del MTTR del revestimiento actual con un homólogo, disminuyendo los tiempos de reparación en un 50%.

Evaluar propuesta a través de comparación de costos asociados, reduciendo los gastos de mantenimiento y los costes por inactividad de la planta, mejorando las condiciones de mantenibilidad.

CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

SCM Minera Lumina Copper Chile (MLCC) es una compañía de propiedad de las empresas japonesas Pan Pacific Copper Co., Ltd. (77,37%) –en la que participan JX Nippon Mining & Metals (66%) y Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd. (34%)– y Mitsui & Co., Ltd. (22,63%).

1.1.1. Ubicación Geográfica

Caserones se ubica en la Región de Atacama, específicamente en la comuna de Tierra Amarilla a 162 km al sureste de Copiapó, a 9 km de la frontera Argentina y a una altura máxima de 4300 m.s.n.m.



Fuente: <https://www.caserones.cl/nuestra-operacion/>

Figura 1-1. Ubicación geográfica Caserones

1.1.2. Proceso.

Caserones considera una explotación a rajo abierto, con una planta para producir concentrados de cobre y molibdeno a partir de sulfuros primarios; y una planta de extracción por solvente y electro obtención (SX-EW) para producir cátodos de cobre mediante el procesamiento de minerales oxidados, mixtos y sulfuros secundarios.

Durante los 28 años de vida útil estimada para Caserones, se calcula una producción total de 3,141 millones de toneladas de cobre fino en concentrados y 86.844 toneladas finas de molibdeno. La operación estimada de 25 años para la lixiviación en botadero calcula una producción total de 411.000 toneladas de cátodos de cobre.

El diseño de los relaves en Caserones fue concebido con el propósito de minimizar el consumo hídrico y energético, así como los impactos ambientales. Por ello, se consideró depositar separadamente la fracción gruesa del relave (Arenas) y la fracción fina del relave (Lamas).

Las Arenas son depositadas en la quebrada Caserones a un costado de la Planta Concentradora, en tanto que las Lamas son transportadas en forma gravitacional aproximadamente 16 km a la quebrada La Brea.

1.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA

Posterior al proceso de chancado y de molienda del mineral, todo el concentrado ya en forma de pulpa pasa a la siguiente fase del proceso minero, que es conocida como Flotación Colectiva aquí se realiza una separación efectiva de lo que es realmente importante para el proceso que vendría siendo un concentrado rico en cobre y en molibdeno, y aquello que no tiene importancia para la producción, que es conocido como relave.

En este punto se procesan alrededor de 4300 toneladas por hora de material, lo que representa el total de la producción del área de molienda, a continuación, se visualizan los datos más relevantes de la operación en el área de Flotación colectiva



Fuente: Imagen propia

Figura 1-2. Pantalla de control operacional concentradora

Cada uno de los equipos que operan dentro de la planta de Flotación cumplen un importante papel para el proceso, algunos de los equipos más relevantes son los siguientes.

1.2.1. Celdas de Flotación Colectiva Rougher y Scavenger.

Estas celdas comprenden la primera parte del proceso, en aspectos generales son estanques verticales abiertos a la atmósfera en el lado superior, donde también posee un conjunto motor reductor, que están comunicados por un sistema de poleas y correas, que a su vez sirven para dar giro a un rotor vertical, que se encuentra sumergido en la pulpa. En el interior del estanque alrededor del rotor posee un conjunto llamado Standpipe, que ayuda a la generación de las burbujas, y por el borde superior interno, tiene también una serie de canaletas radiales que colectan la espuma rica en cobre que flota hasta la superficie. Otro componente mecánico de este equipo son las válvulas de control de nivel de la celda, las cuales son accionadas a través de cilindros neumáticos, estas válvulas son conocidas como dardos y están automatizadas de acuerdo con el nivel de la celda.



Fuente: Imagen propia celdas

Figura 1-3: Manto celdas flotación

El rotor de la celda agita el material, generando burbujas en el fondo del estanque, que flotan hacia la superficie, estas burbujas atrapan las partículas de cobre y molibdeno presentes en la pulpa, que tienen características que las vuelven hidrofóbicas, y las hacen flotar y rebasar la celda, hacia las canaletas colectoras que llevan la pulpa rica en cobre a la siguiente fase del proceso.

Existen 16 celdas Rougher y 7 celdas Scavenger dentro de la planta, todas operan de manera continua; las celdas Rougher están distribuidas en 2 líneas paralelas, cada una de 8 celdas, que están conectadas en serie. Por otra parte, solo existe una línea Scavenger en que las 7 celdas están conectadas en serie.



Fuente: Imagen propia celdas

Figura 1-4. Sistema motriz celdas

1.2.2. Celdas Columnares.

Equipo final del proceso de flotación, estas celdas son del tipo columnar, no poseen un agitador que genera las burbujas como en los otros casos, si no que cuentan con un kit de 26 inyectores de aire distribuidos en el manto, que producen burbujas desde el fondo de la celda y llevan las partículas de cobre y molibdeno hasta la superficie, existen 2 de estas en la planta y funcionan simultáneamente en un circuito paralelo.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-5. Celdas de flotación Cleaner

1.2.3. Batería de Hidrociclones

Es similar a las que se usan en el área de molienda, pero de una menor envergadura, está compuesta de 9 Hidrociclones, clasificados por letras desde la “A” hasta la “I”, este equipo ayuda a separar el mineral de acuerdo a su granulometría a través de la generación de un movimiento circular del flujo dentro del equipo, produciendo una fuerza centrífuga en el interior de cada hidrociclón, permitiendo de esta forma que las partículas finas del material sean expulsadas por la parte superior del hidrociclón u Overflow, siendo receptadas por un cajón de distribución, mientras que las partículas de mayor tamaño son descartadas por la parte inferior o underflow, que también son recepcionadas por otro cajón de distribución. En planta solo existe una de estas baterías y solo funcionan 5 hidrociclones de forma continua, los otros se encuentran en standby en caso de que alguno de los funcionales presente fallas.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-6. Batería de hidrociclones.

1.2.4. Molinos Verticales

También conocidos como Vertimill o VTM. Estos equipos de remolienda reciben el underflow de la batería de hidrociclones para reducir aún más la granulometría del mineral, utilizan bolas de 1 o 1,5 pulgadas de diámetro y un tornillo vertical en el interior que genera un roce entre las bolas y el material y además hace subir las bolas y luego las deja caer para generar la fractura

del mineral. Actualmente existen 2 VTM en planta, por proceso solo funciona uno, mientras el otro se encuentra en standby a modo de respaldo en caso de fallas.



Fuente: Imagen propia.

Figura 1-7. Molinos verticales 1 y 2

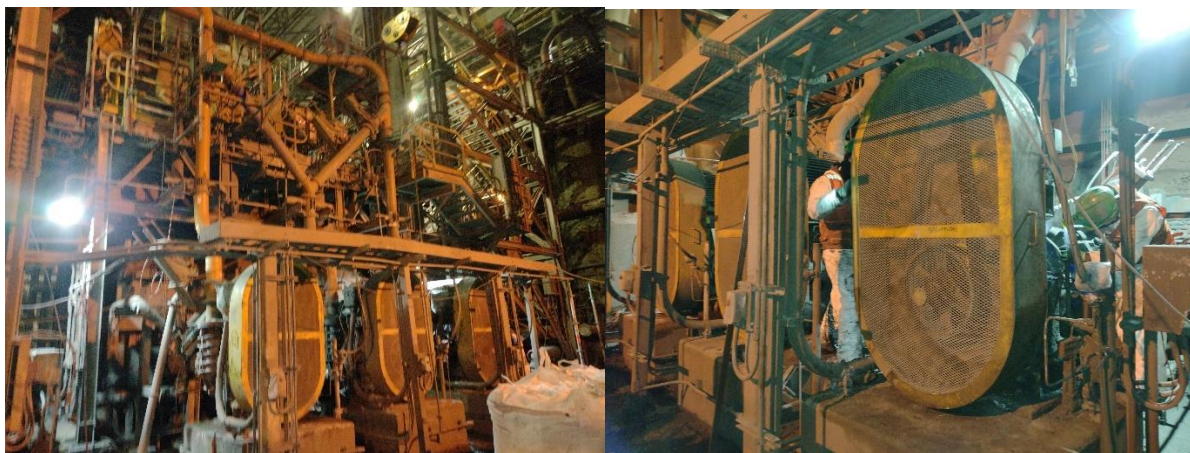
1.2.5. Bombas

Para trasladar la pulpa de un punto a otro dentro de la planta, existen integrado dentro del proceso 9 bombas, todas de la marca Krebs, distribuidas de la siguiente forma, 2 bombas que reciben el concentrado de las líneas Rougher y alimentan la batería de ciclones, una de estas se encuentra en funcionamiento y la otra en standby.

Otras 3 bombas que reciben el underflow de la batería de hidrociclones y alimentan los VTM's, de estas tres, una alimenta el VTM 1, otra alimenta el VTM 2 y la tercera es capaz de alimentar cualquiera de los dos molinos, dependiendo de cual este en operación, como solo funciona uno de los molinos a la vez, de la misma forma solo opera una de las bombas por vez, en tanto que las otras se encuentran en standby.

Otras 2 bombas reciben el Overflow de la batería para alimentar la línea Scavenger, de la misma forma que en los casos anteriores, solo opera una bomba a la vez y la otra se encuentra en standby.

Mientras que las 2 bombas restantes reciben el concentrado de la línea Scavenger para alimentar las celdas columnares, de la misma forma una se encuentra en operación y la otra se encuentra en standby.



Fuente: Imágenes propias.

Figura 1-8. Grupos de bombas 4250 y 4230

Tabla de bombas planta flotación				
Bomba	Código	Punto succión	Punto descarga	Estado
9	4250-pp009	Underflow batería	VTM 1	Standby
10	4250-pp010	Underflow batería	VTM 2	Operando
11	4250-pp011	Underflow batería	VTM 1 y 2	Standby
1	4230-pp01	Concentrado Scavenger	Celdas columnares	Operando
2	4230-pp02	Concentrado Scavenger	Celdas columnares	Standby
3	4230-pp03	Overflow batería	Línea Scavenger	Standby
4	4230-pp04	Overflow batería	Línea Scavenger	Operando
1	4250-pp01	Concentrado Rougher	Batería hidrociclones	Standby
2	4250-pp02	Concentrado Rougher	Batería hidrociclones	Operando

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-1. Bombas planta flotación.

1.3. DESCRIPCION DEL PROCESO.

Dentro del proceso de Flotación Colectiva existen diferentes puntos por los cuales va circulando esta pulpa, para poder obtener un concentrado final con los estándares de calidad exigidos por el cliente. En una primera instancia la pulpa, proveniente desde molienda es almacenada en el cajón 4100-DI-001 al inicio del proceso de Flotación Colectiva, este cajón a través de gravedad alimenta ambas líneas de Flotación Rougher (línea 1 y 2), el concentrado circula por las líneas de celdas, mientras que es agitado por los rotores respectivos de cada celda, produciendo en la superficie, una turbulenta columna de espuma (rica en cobre y molibdeno), que

poco a poco va rebalsando por las canaletas radiales. Mientras que el material que no es de interés, conocido como relave, continúa circulando por la parte inferior de la celda hacia el siguiente estanque.

El nivel de concentrado dentro de la celda es minuciosamente controlado por las válvulas de accionamiento neumático, que constantemente abren y cierran los canales de conexión entre celdas.

Una vez que la pulpa ha circulado por todas las celdas, lo que queda solamente es relave, el cual es despachado por la parte inferior de la celda final de la línea, para ser depositado en los espesadores de relaves, en conjunto con las colas de la otra línea Rougher y línea Scavenger.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-9. Cajón recepción relaves

Mientras tanto el concentrado rico en cobre y molibdeno que ha sido recolectado de la superficie con la ayuda de las canaletas radiales es vaciado por gravedad al cajón 4250-ZM-001.

Las bombas 4250-PP-001 y 002 impulsan el contenido de este cajón alimentando la batería de hidrociclones, que como ya fue explicado anteriormente se encarga de separar el concentrado en base a su granulometría; el material que posee partículas gruesas es rechazado por underflow de cada Hidrociclón, para ser almacenado en el cajón 4250-ZM-002.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-10. Cajón 4250-ZM-002 molinos verticales

Posterior a esto las bombas 4250-PP-009, 010 y 011 inyectan este flujo hacia los molinos verticales para dar inicio al proceso de remolienda, una vez que se ha reducido la granulometría del mineral en los VTM's, la pulpa es trasladada de vuelta hacia el cajón 4250-ZM-001, y se mantiene en este circuito cerrado, hasta lograr la granulometría deseada.

El concentrado que es expulsado por el Overflow del Hidrociclón es depositado al cajón 4230-ZM-003, desde donde las bombas 4230-PP-003 y 004 envían este flujo hacia el principio de la línea de flotación Scavenger o primera limpieza.

Luego de circular por la línea Scavenger, el concentrado es depositado en el cajón 4230-ZM-002, donde las bombas 4230-PP-001 y 002 impulsan un flujo de pulpa hacia las celdas columnares 6 y 7 que dan por finalizado el proceso de flotación, posteriormente todo el concentrado de cobre molibdeno recuperado es enviado por gravedad, hacia la planta de Molibdeno, donde se continua con el procesamiento del concentrado.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-11. Cajón distribución celdas columnares

1.4. **PROBLEMÁTICA**

Si se habla de los equipos que se encuentran en la planta, en su mayoría cuentan con un respaldo en caso de que presenten fallas. Todas las configuraciones de bombas cuentan con un equipo en standby, que respalda en caso de ser necesario, esto es si se producen fallas fortuitas, o si se requiere que el equipo tenga una detención programada para realizar un cambio de componentes, o algún otro tipo de mantenimiento, lo mismo sucede con los molinos, solamente uno trabaja de forma continua, mientras que el otro solo entra en operación cuando existen detenciones programadas.

Este no es el caso de las celdas de flotación, ya que la detención de una de estas por fallas implica la detención total de una de las líneas, lo que significa un impacto en la producción, con pérdidas cuantificables en un monto de USD 102.681 por hora de detención.

Actualmente el mantenimiento de los rotores, que implica el cambio de estos, no significa la detención de la celda, debido a la implementación de un sistema de inyección de aire, que permite que la celda continúe funcionando, con un rendimiento menor, pero sin dejar de realizar sus

funciones. Pero en caso de que la celda presente algún tipo de rotura en el manto o en el cajón de traspaso, representa una fatalidad, ya que significa la detención de la celda para reparación, y no solo de esta, sino que también de toda la línea, para detener la fuga y poder trabajar en el punto de ruptura.

Para la parte del manto de la celda no existe ningún tipo de revestimiento, sino que solamente queda al descubierto la plancha de acero estructural que conforma el manto de la celda, mientras que, en los cajones de traspaso, que representa la zona de más turbulencia del flujo y además la zona donde circula con una gran velocidad, si existe un revestimiento integral del tipo caucho cerámico, que protege completamente la parte interna de este.



Fuente: Imagen propia patio de repuestos

Figura 1-12. Cajón de traspaso convencionales previo a su instalación

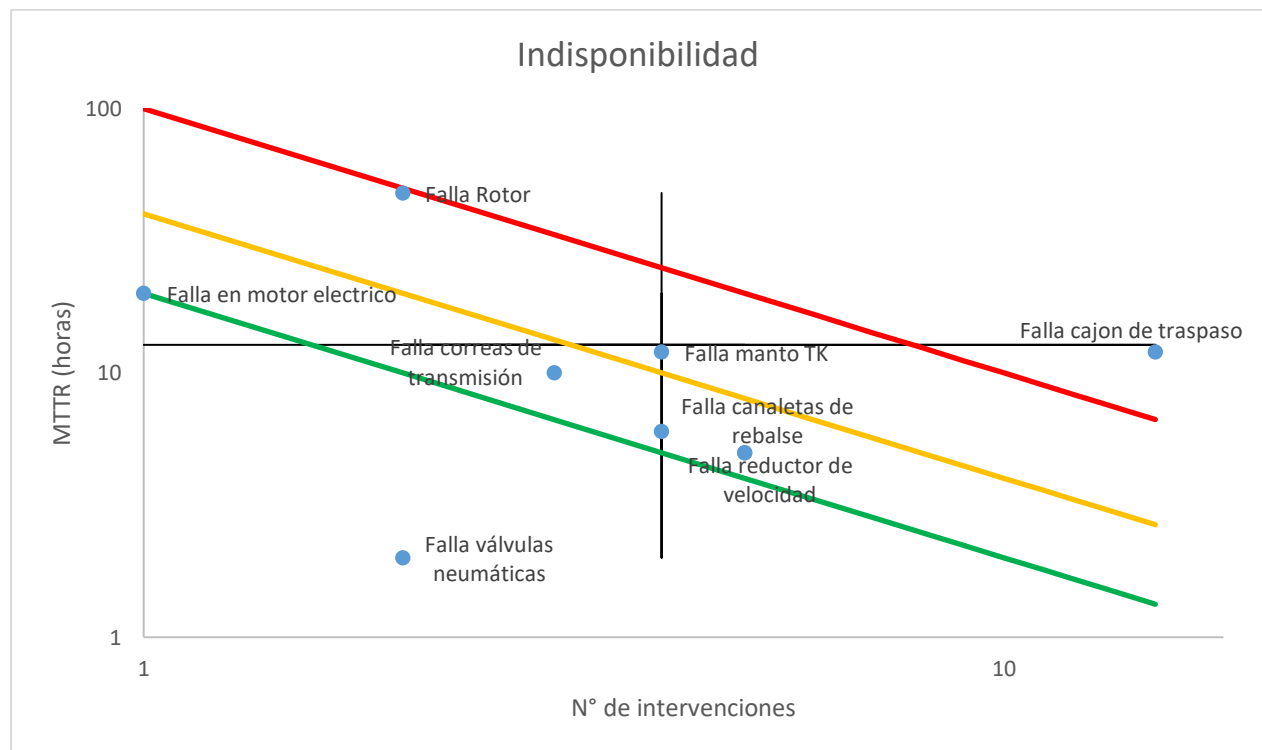
El problema es que este revestimiento no es capaz de resistir la abrasión generada por las partículas sólidas dentro de la pulpa, lo que produce el rápido deterioro de estas placas, que finalmente conlleva a la fuga de material por la zona externa del cajón.

La fuga de material significa un derramamiento descontrolado y no normado del relave que circula por los cajones, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) del Estado de Chile, establece que, si bien es cierto, el relave no es considerado un Residuo Sólido

Peligroso (RSP), si contiene en su composición una serie de minerales, tales como arsénico, cianuro, cobre, plomo, cinc y cromo, que en ciertas concentraciones pueden llegar a ser nocivos para el ser humano y el medio ambiente. Para la prevención de esto SERNAGEOMIN, establece, que las empresas mineras deben investigar desde el inicio de su proyecto los elementos químicos y mineralógicos que caracterizan el yacimiento y su entorno, para definir medios y recursos a utilizar para su neutralización. Esto se hace a través de la construcción de depósitos de contención de relaves, que sirven para depositar y aislar completamente el relave del entorno circundante.

Actualmente en Chile existen 764 depósitos de relaves regulados por el SERNAGEOMIN, solo 85 de ellos se encuentran activos, el resto ha sido cerrado o se encuentran en construcción.

Debido a esto se ha desarrollado un análisis del tipo Jack Knife que permitirá clasificar los sistemas de la celda de flotación, conforme a sus tiempos de mantenimiento y tiempos fuera de servicio por falla, para poder identificar el más crítico de estos sistemas, el cual será evaluado para realización de mejoras.



Fuente: Elaboración propia (revisar anexos)

Figura 1-13. Jack Knife

Como se puede apreciar en el gráfico existe una clara tendencia hacia la zona crónica-no aguda del gráfico, es decir el equipo es intervenido varias veces, pero con tiempos de falla significativamente bajos, que no superan el promedio. La más crónica de estas fallas, es la del cajón de traspaso, y si bien es cierto los tiempos de reparación aún se mantienen en la zona no aguda, el impacto económico a la producción por la detención de una de las líneas de celdas por un tiempo de 12 horas, que es el MTTR para este caso, es de USD 1.232.172, sin contar el costo del mantenimiento asociado.



Fuente: Imagen propia cajón traspaso

Figura 1-14. Cajón de traspaso vista externa

El mantenimiento programado de estos cajones significa el cambio completo, lo que resulta en 72 horas de trabajo aparte de los costos asociados e insumos, actualmente la única instancia que se genera para estos cambios son las paradas de planta que se programan cada 4 meses y duran 5 días.

El realizar el cambio o mantenimiento de estos cajones implica el uso de alrededor de 40 tinetas de pasta cerámica para su revestimiento, también se debe considerar que son 15 los cajones de traspaso que existen en la planta por lo que se considerara una proyección por el coste total.

En bodega existe stock de pasta Global Flex Diamond y pasta Devcon Wear Guard para esta reparación y los costos están representados en la siguiente tabla.

		Precio unitario	Tinetas	Sub total	Cantidad de cajones	Total
Global Flex Diamond	clp	\$ 128.012	40	\$ 5.120.480	15	\$ 76.807.200
	USD	\$ 135	40	\$ 5.400	15	\$ 81.000
Devcon Wear guard	clp	\$ 181.639	40	\$ 7.265.560	15	\$ 108.983.400
	USD	\$ 191	40	\$ 7.640	15	\$ 114.600

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-2: Cuadro comparativo de costos pasta cerámica

Además, un trabajo de 72 horas de al menos 22 trabajadores en turnos rotativos de 12 horas, que implican limpieza de pernos, corte o soldadura de pernos, y desmontaje del cajón con maniobras, ya que por accesibilidad no se puede hacer uso del puente grúa

Tabla de costos H/H					
Trabajador	Cantidad	Valor HH	Horas de trabajo	Sub. total	Total
Supervisor	2	\$ 130.000	72	\$ 18.720.000	\$ 138.240.000
Op. Puente grúa	2	\$ 100.000	72	\$ 14.400.000	
Rigger	2	\$ 90.000	72	\$ 12.960.000	
Mecánico	16	\$ 80.000	72	\$ 92.160.000	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-3: Detalle HH para MM, costos en CLP.

1.5. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO CAJÓN CONVENCIONAL

A este equipo se le realiza únicamente mantenimiento correctivo, en base a las roturas que se presentan, son evaluados los daños y se decide si detener el equipo o realizar reparaciones por la parte exterior, estas reparaciones por la zona exterior consisten en un parche con producto químico llamado CAVE II, que posteriormente se encajona con plancha de acero de 6 mm y uniones soldadas. Si debido al daño severo el equipo es tomado para detención, se procede a hacer reparaciones internas que incluyen el refuerzo con planchas de acero soldadas en la zona curva del cajón y aplicación de pasta Global Flex en la base, para aumentar su durabilidad. Debido a los accesos limitados y estrechos no se realiza medición de espesores en la zona del cajón.

Actividades de Mantenimiento		
Cajón Convencional		
Avtividad	Tiempo (HH)	Tipo
Aplicación de pasta cerámica	8	Preventivo
Reparación con cave II	2	Correctivo
Reparación con plancha acero	15	Correctivo
Inspeccion visual externa	1	Preventivo
Inspección visual interna	5	Preventivo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1-4: Actividades de mantenimiento Cajón convencional

**CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE NUEVO REVESTIMIENTO INTERNO PARA CAJÓN
DE TRSPASO.**

2. PROPUESTA DE NUEVO REVESTIMIENTO INTERNO PARA CAJÓN DE TRSPASO.

2.1. Análisis de modos de fallas, efectos de falla y su criticidad

También conocido por sus siglas AMFEC o FMECA en inglés, el análisis de modos de fallas, efecto de fallas y su criticidad es una metodología utilizada para identificar los sistemas, funciones, modos de falla y efectos de falla y clasificar efectos de falla conforme a su severidad, ocurrencia y capacidad de detección, asignándoles a cada cual un valor que resultara en un factor llamado RPN, que determinara la criticidad del efecto de falla y la urgencia de ser atendido.

2.1.1. Construcción AMFEC / FMECA

Para el cálculo de NPR se deben asignar valores a cada efecto de falla, en virtud de su severidad, ocurrencia y detección, para cada una de estas variables se genera una matriz específica, la cual se basa en valores reales asociados a las fallas a evaluar. ($NPR = OCURRENCIA \times SEVERIDAD \times DETECCIÓN$).

Ocurrencia	
Criterio: Frecuencia de fallas representadas en una escala.	Escala
Diario	10
2 veces por semana	9
Semanal	8
Quincenal	7
Mensual	6
Bimensual	5
Trimensual	4
Semestral	3
Anual	2
Menos de una vez al año	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-1: Matriz Ocurrencia

Severidad	
Criterio : Tiempo resultante de MTTR x costo inactividad	Escala
Mas de 1.000.000 USD	10
Entre 900.000 y 999.999 USD	9
Entre 800.000 y 899.999 USD	8
Entre 700.000 y 799.999 USD	7
Entre 600.000 y 699.999 USD	6
Entre 500.000 y 599.999 USD	5
Entre 400.000 y 499.999 USD	4
Entre 300.000 y 399.999 USD	3
Entre 200.000 y 299.999 USD	2
Menos de 200.000 USD	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-2: Matriz Severidad

Detección		
Criterio: Probabilidad de detectar anomalías antes que una falla se presente	Escala	Detección
Prueba detecta < 60% de fallas	10	Casi imposible
Prueba detecta 60 % de fallas	9	Muy remota
Prueba detecta 65 % de fallas	8	Remota
Prueba detecta 70 % de fallas	7	Muy Baja
Prueba detecta 75 % de fallas	6	Baja
Prueba detecta 80 % de fallas	5	Moderada
Prueba detecta 85 % de fallas	4	Altamente moderada
Prueba detecta 88 % de fallas	3	Alta
Prueba detecta 93 % de fallas	2	Muy Alta
Prueba detecta 98 % de fallas	1	Casi seguro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-3: Matriz Detección

Teniendo definidos los valores de las matrices, se identifica en el equipo los subsistemas, los componentes y las funciones de cada uno de estos, a las funciones se le asignan los modos de falla correspondiente y a cada modo de falla se le asigna una cantidad de efectos de falla según sea el caso. Posterior a esto se organiza la información en una tabla y se evaluó cada efecto de falla conforme a las matrices presentadas anteriormente, asignándoles un valor de severidad, ocurrencia

y detección, estos tres valores son multiplicados entre si, dando como resultado el valor NPR, el cual apunta a clasificar el impacto del efecto de falla en el equipo.

Sistema	Subsistema	Función	Componentes	Función	Modo de Falla	Efecto de Falla	Oc	Sev	Det	NPR
C e l d a F l o t a c i ó n	Sistema motriz (motor, reductor, rotor)	Agitar el concentrado para generar turbulencia y burbujas	Motor	Convertir energía eléctrica en giro mecánico a 1500 RPM	Sobrecalentamiento descansos	Rodamientos dañados	1	6	3	18
						Poleas desalineadas	3	2	4	24
						Correas mal tensadas	3	2	4	24
					Vibraciones	Pernos sueltos	9	1	4	36
						Corte de eje	1	6	8	48
			Sobrecalentamiento		Falla del radiador	4	2	2	16	
					Falta de aceite	7	4	2	56	
					Fuga de aceite	7	4	1	28	
			Atascamiento		Rotura de componentes internos	2	6	7	84	
					Daño en rodamientos	2	6	4	48	
	Perdida de giro del rotor	Corte de eje	1	6	8	48				
		Corte de correas	3	2	7	42				
	Vibraciones	Daño en engranajes	1	6	4	24				
	Baja eficiencia en el proceso	Perdida de material del rotor	2	6	7	84				
	Valvulas neumáticas	Controlar nivel de pulpa en la celda	Cilindro Neumatico	Producir movimiento vertical en vástago, que provoca el corte del flujo de concentrado de una celda a otra	Cilindro no tiene movimiento	Deficiencia en el flujo de aire	6	2	3	36
						Deficiencia en la presión del aire	2	2	3	12
						Falla de electro válvula	2	1	8	16
						Mangueras y tubing desconectados o rotos	7	1	8	56
					Perdida de contención	Sellos dañados o mal montados	7	2	5	70
			Mangueras e instrumentos mal montados			7	2	7	98	
Rotura de uniones			3			1	6	18		
Vástago y dardo			Cerrar el paso de la pulpa por las salidas inferiores de la celda		No sube/no baja	Corte de eje	2	6	8	96
						Caida de pasador de unión	4	1	10	40
						Elementos de sello desgastados (Gromet o dardo)	4	2	6	48
TK/cajón	Contener el concentrado	Tk	Contener el concentrado que esta siendo	Perdida de capacidad de contención	Rotura de manto	5	10	4	200	
		Corrosion externa	3		4	3	36			
	Cajón	Contener el concentrado en su traspaso de una celda a otra	Perdida de la capacidad de contención	Rotura por revestimiento interno	5	10	10	500		
				Corrosion externa	3	4	3	36		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-4: AMFEC Celda de Flotación

Al tener organizada la información y entregados los resultados, se procede a tomar decisiones en base a los valores de cada efecto de falla, para este caso comprobamos que la rotura del revestimiento interno del cajón de traspaso representa un valor de NPR = 500, debido principalmente al gran impacto económico, significa para la producción y la dificultad que existe actualmente para poder detectar este tipo de fallas.

2.2. Tipos de Revestimientos

Dentro de la Industria minera, se han adquirido diferentes técnicas para evitar el desgaste acelerado de los componentes, debido al roce constante del material en forma de pulpa contra las paredes metálicas de equipos, una de las formas más eficientes es a través del uso de revestimientos, algunos de caucho, o cerámico o incluso revestimientos con aleaciones de aceros endurecidos, que ayudan a aumentar la vida útil de los componentes.

2.2.1. Revestimiento actual de cajones convencionales línea 1, 2 y Scavenger

Actualmente los cajones de traspaso convencionales, es decir entre celda y celda, de las líneas 1,2 y Scavenger presentan el revestimiento descrito anteriormente, con placas de caucho cerámica, las cuales no son desmontables ni reemplazables, además han demostrado un insatisfactorio desempeño, puesto que presentan constantes filtraciones de relaves, lo que significa un alto impacto ambiental y la detención de las líneas, para limpieza y reparaciones. Para este componente se han calculado algunos indicadores de mantenimiento, como lo es el MTBF (Tiempo medio entre fallas) y el MTTR (Tiempo medio para reparar), mediante los cuales se puede medir su desempeño, y que son representados en la tabla a continuación, además de los costes por inactividad de la línea (valores de tabla en horas y dólares).

Cajones convencionales	
MTBF	584 horas
MTTR	12 horas
Costes por inactividad	\$ 1.232.172
Costes por mantenimiento mayor	\$ 174.499

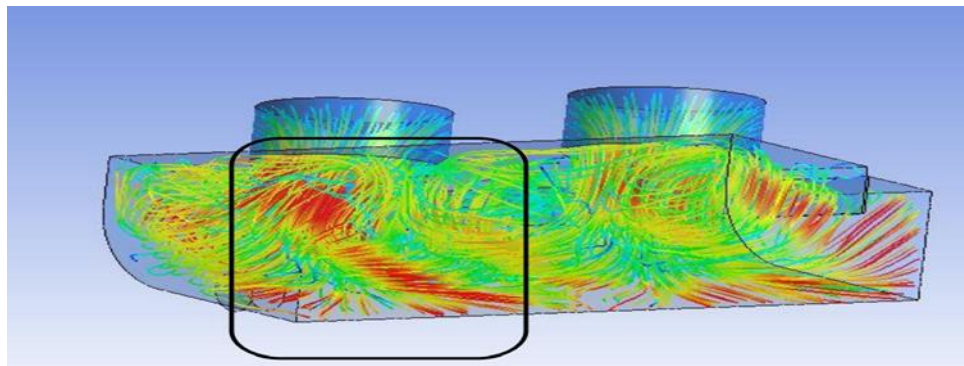
Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-5: Datos cajones convencionales, costos en USD

Los valores representados en la tabla son representativos para un solo cajón de traspaso, y debemos considerar que en la planta existe un total de 15 cajones de este tipo, a los cuales se les realiza mantenimiento correctivo, y no se monitorean mediante la medición de espesores, por condiciones físicas de accesibilidad.

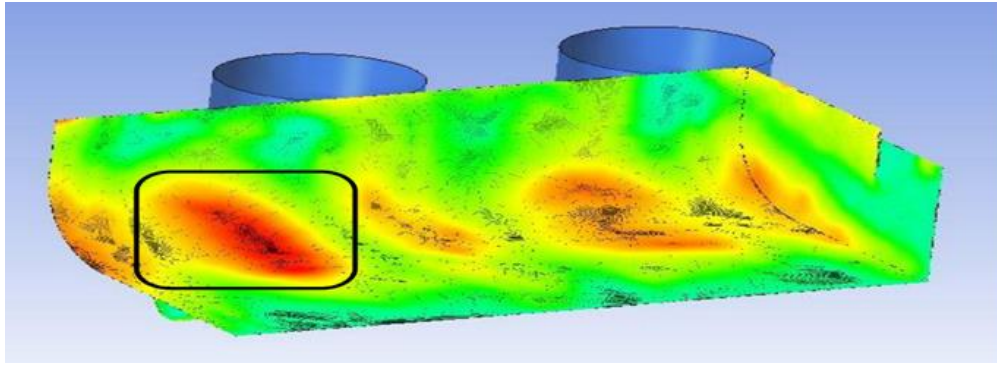
Por otro lado, la geometría de estos cajones favorece la creación de zonas de alta turbulencia y presión del flujo dentro del cajón, lo que acelera el desgaste de estos de manera interna.

A través del uso de un software que permite la simulación numérica de flujos, transferencia de calor y fenómenos relacionados con reacciones químicas, se realizó un análisis en el área de la dinámica de fluidos computacional (CFD). Aquí se aprecia una alta turbulencia en algunos puntos, que a su vez genera una alta presión en lugares específicos del cajón



Fuente: Informe jefe de mantenimiento Área Húmeda

Figura 2-1: Zona de alta turbulencia dentro del cajón.



Fuente: Informe jefe de mantenimiento Área Húmeda

Figura 2-2: Zona de alta presión dentro del cajón.

Se puede ver en los diagramas que en ambos casos las zonas afectadas son las mismas, ya sea por turbulencia o por presión, es decir, en el punto en que el material descarga en el cajón, con esto se puede decir que se conoce la zona afectada del cajón, lo cual concuerda con lo visto en terreno, ya que en su mayoría la rotura de los cajones está presentes en esta zona.

A diferencia de la línea de flotación Scavenger, las líneas Rougher como se explicó anteriormente, trabajan con una pulpa que presenta una granulometría mayor del mineral, ya que estas se encuentran antes del proceso de remolienda.

2.2.2. Revestimiento actual cajón final línea Scavenger

El cajón final de descarga de la línea Scavenger, presenta una configuración diferente en cuanto a su composición física, ya que por gestiones del proyecto de montaje este cajón se encuentra seccionado en su interior con placas de desgastes de diferentes geometrías y medidas, esto le otorga ciertas características como la reducción de la turbulencia debido a la geometría de las placas y que sus tiempos de reparación son menores, por lo que el impacto a la producción es también menor

Cajones seccionados	
MTBF	-
MTTR	6 horas
Costes por inactividad	\$ 616.086
Costes por mantenimiento mayor	\$ 3.156

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-6: Datos cajón seccionado, costos en USD

Podemos notar una diferencia significativa en todos los valores, en primer lugar, no se considera el MTBF debido a que hasta el momento el equipo no ha presentado fallas (lo que se puede deber a la condición operacional de este cajón), el MTTR es solamente de 6 horas, lo que significa que el impacto a la producción por inactividad de equipos es 50% menor para este tipo de cajón.

Lo que sí es considerado es el coste por mantenimiento mayor el cual puede ser realizado cada 4 meses en las paradas de planta y tiene un costo mucho menor en comparación con los cajones de traspaso convencionales, los cuales son detallados a continuación.

Mantenimiento Mayor cajones Seccionados					
Tabla de costos H/H					
Trabajador	Cantidad	Valor HH	Horas de trabajo	Sub total	Total
Supervisor	1	\$ 130.000	6	\$ 780.000	\$ 2.580.000
Mecánico	3	\$ 100.000	6	\$ 1.800.000	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-7: Detalle HH para MM, costos en CLP

2.2.3. Conclusiones comparativas

A continuación, se procederá a comparará físicamente ambos revestimientos y en base a los indicadores de mantenimiento entregados (MTTR), para así poder plasmar cuál de los 2 desarrolla mejor la operación, generando más beneficios y entregando un plus a la mantenibilidad de los equipos.

Cajones convencionales		Cajones seccionados	
MTBF	584 horas	MTBF	-
MTRR	12 horas	MTRR	6 horas
Costes por inactividad	\$ 1.232.172	Costes por inactividad	\$ 616.086
Costes por mantenimiento mayor	\$ 174.499	Costes por mantenimiento mayor	\$ 3.156

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-8: Comparativa Indicadores de mantenimiento y costos (en USD)

Claramente se aprecia en la tabla la conveniencia del uso de un revestimiento seccionado en el interior del cajón, ya que mejora considerablemente los tiempos empleados en la reparación, apuntando a la eliminación de los tiempos de mantenimiento correctivo si es que se planifican inspecciones recurrentes de los revestimientos para las paradas de planta.

El coste por inactividad se ve disminuido en un 50%, puesto que el tiempo de reparación requerido es solamente de 6 horas.

El costo por mantenimiento mayor es el que más se ve disminuido, ya que sería posible reducir el personal involucrado en la tarea, las horas de intervención y eliminar el uso de pasta cerámica como revestimiento interno.

Mantenimiento Mayor cajones Convencionales					
Tabla de costos H/H					
Trabajador	Cantidad	Valor HH	Horas de trabajo	Sub total	Total
Supervisor	1	\$ 130.000	72	\$ 9.360.000	\$ 69.120.000
Op. Puente grúa	1	\$ 100.000	72	\$ 7.200.000	
Rigger	1	\$ 90.000	72	\$ 6.480.000	
Mecánico	8	\$ 80.000	72	\$ 46.080.000	
Mantenimiento Mayor cajones Seccionados					
Tabla de costos H/H					
Trabajador	Cantidad	Valor HH	Horas de trabajo	Sub total	Total
Supervisor	1	\$ 130.000	6	\$ 780.000	\$ 2.580.000
Mecánico	3	\$ 100.000	6	\$ 1.800.000	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-9: Comparativa costos HH para Mantenimientos Mayores, costos en CLP

En cuanto a los costes por Mantenimiento Mayor existe una amplia diferencia entre ambas opciones, puesto que para cajones seccionados disminuye enormemente el personal y la cantidad de horas necesarias.

2.3. Modalidad de Revestimientos para cajones seccionados

La nueva modalidad propuesta incluye el seccionamiento interior del cajón con una serie de placas de caucho cerámica que se unan mecánicamente (a través de pernos) con la placa externa del cajón o placa madre, evitando que esta reciba el impacto de la pulpa, el roce y la turbulencia.

Entre esta placa madre y estas nuevas placas de desgaste se debe montar un revestimiento de caucho que mitigará las fugas de material que puedan existir, de esta manera al momento en que se detecte alguna fuga, se puede identificar de manera individual la placa que presente algún desgaste y proceder a cambiarla de manera individual, sin necesidad de realizar una intervención con un gran número de personas.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-3: Placa de desgaste

Estas nuevas placas de caucho cerámica tienen un espesor aproximado de 50mm y son necesarias 25 unidades para cubrir el cajón completo.

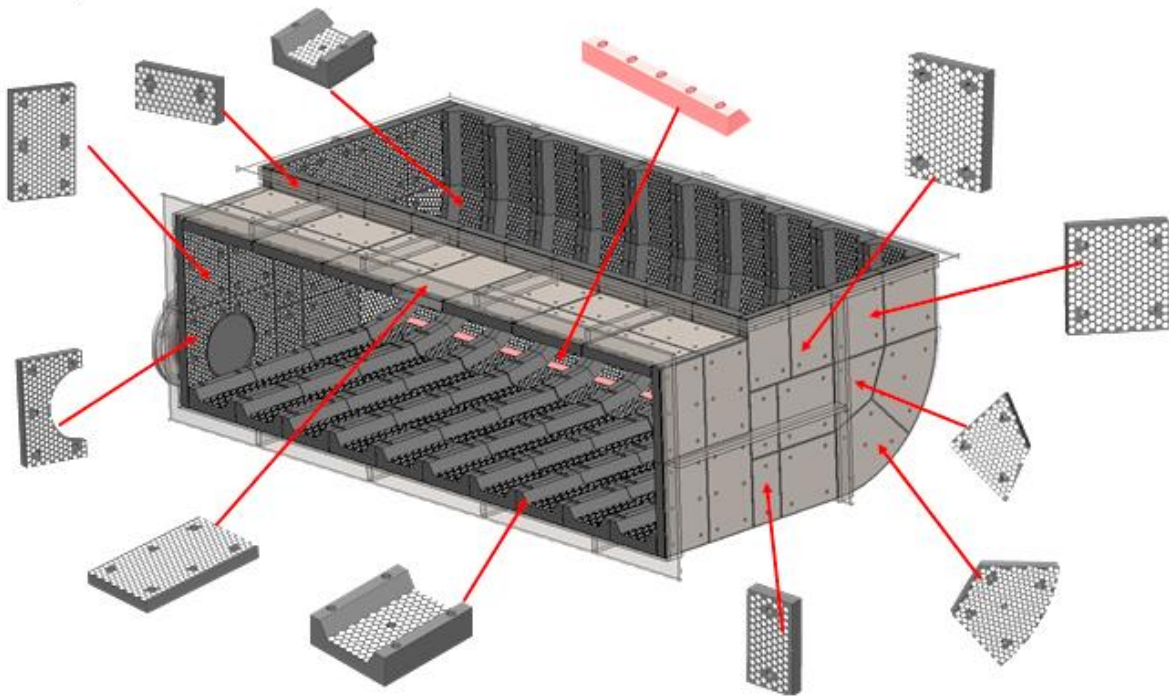
En las secciones de alta turbulencia, que ya fueron identificadas, también se montara otro tipo de revestimientos, el cual es clave para disminuir la turbulencia en estas zonas y también disminuir la velocidad del flujo. De estas placas tipo lifter son necesarias 18 para el revestimiento del cajón.



Fuente: Imagen propia

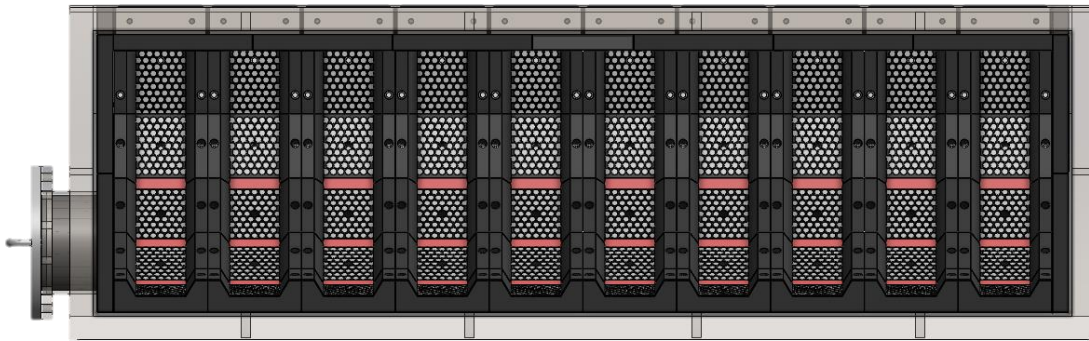
Figura 2-4: Placa de desgaste tipo lifter

La forma final del nuevo cajón con revestimientos será similar a lo que se muestra a continuación.



Fuente: Informa revestimientos molienda Caserones

Figura 2-5: Vista isométrica cajón seccionado



Fuente: Informa revestimientos molienda Caserones

Figura 2-6: Vista frontal cajón seccionado

2.4. Mantenibilidad

2.4.1. Mejoras de Mantenibilidad

La Mantenibilidad la podemos definir como la probabilidad de restituir las funciones en un determinado tiempo, de un equipo o sistema que ha sufrido una falla en su mantenimiento. Se mide mediante el tiempo medio de reparación (MTTR), o si lo vemos desde un ámbito cualitativo, se puede medir en que tan preparados se está para atacar la falla, o que tan accesible puede ser la reparación de un equipo, todo esto puede ser llevado a tiempo y reflejado en el MTTR.

Para el caso del indicador MTTR, mientras más bajo sea el valor, mayor es la conveniencia, ya que significa que las reparaciones del equipo toman poco tiempo, por lo que el equipo estará fuera de servicio por un periodo muy corto. Este es el caso del tipo de cajón seccionado, el cual cuenta con un MTTR de tan solo 6 horas, en las que se incluye inspección y cambio de placas dañadas.

Este tipo de cajón mejora la accesibilidad para el mantenimiento mayor, ya que de la forma convencional se debía cortar pasarelas y estructuras para el desmontaje del cajón completo con maniobras, el cual tiene un peso con carga de 9 toneladas, y transportarlo con las mismas maniobras por aire hasta un sector en que el puente grúa pudiese maniobrar y realizar el cambio. Se utiliza gran cantidad de personal para realizar las maniobras, incluyendo cargos específicos, como por

ejemplo Rigger y operador de puente grúa y la cantidad de horas invertidas en esta tarea es altísima, es decir 72 horas para realizar 1 solo cambio de cajón.

2.4.2. Actividades de Mantenimiento cajón seccionado.

Se realiza apertura e inspección de todos los cajones en paradas generales de planta, se evalúa el daño del revestimiento interno, y de ser necesario se coordina el cambio de la pieza dañada, se ahorra el uso de producto químico y los trabajos en caliente, la actividad toma menos tiempo y es posible dedicar más tiempo a las otras celdas.

Por otro lado en la idea propuesta se elimina el uso de estos cargos específicos, ya que no es necesario desmontar el cajón completo, se rebaja la cantidad de personal, puesto que la cantidad de tareas a realizar son muchas menos, se reduce la cantidad de horas de intervención, es decir para una cuadrilla de 3 mecánicos es posible intervenir hasta 2 cajones en un turno de 12 horas, ya no es necesario aplicar pasta cerámica como revestimiento, puesto que las placas de desgaste cumplirán esta función, cada una de las placas tiene un peso de 20 kg, lo que permite que puedan ser transportadas por una persona y realizar los trabajos más rápidamente, sin necesidad de ejecutar maniobras de izaje y de transporte de carga. La tarea es específica y puntual, se cambian un número determinado de placas por cajón dependiendo del desgaste o se inspeccionan, se analiza su durabilidad hasta la siguiente mantención y no se realiza el cambio de placas

Actividades de Mantenimiento		
Cajón Seccionado		
Actividad	Tiempo (HH)	Tipo
Inspección visual externa	1	Preventivo
Inspección visual interna	5	Preventivo
Cambio de placa revestimiento	3	Correctivo

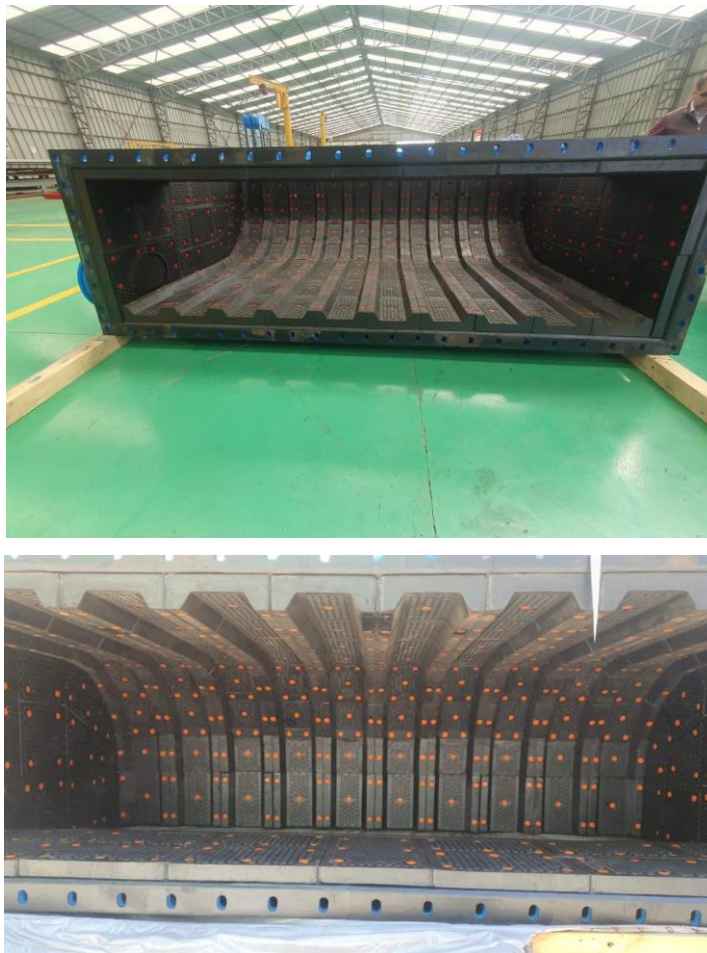
. Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-10: Actividades de mantenimiento cajón seccionado

2.5. Fabricación de cajón seccionado

Para la fabricación de este nuevo cajón de traspaso se solicitó cotización a una empresa dedicada a servicios mineros, que trabaja la mantención y fabricación de equipos de gran envergadura con revestimientos de caucho.

Se hace entrega de un valor de cotización que asciende al monto de USD 385.620 por la fabricación de un cajón de traspaso con entrega en garita de minera caserones, además se cotizo la fabricación de kit de reparación para los cajones el cual asciende a un valor de USD 32.580, cada kit de reparación cubre la reparación completa de un cajón y contiene la totalidad de las placas para el reemplazo, con los pernos para ensamblaje y la lámina de caucho que sella entre las placas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7: Cajones seccionados nuevos para montaje el 31/05/2023

CAPÍTULO 3: ANALISIS ECONÓMICO

3. ANALISIS ECONOMICO

3.1. Valores asociados

Para este análisis se considero los costos asociados al mantenimiento del equipo y los costos por inactividad del equipo, no se considera la depreciación, puesto que el dato no fue posible de conseguir por confidencialidad de la empresa.

3.1.1. Valores asociados al cajón convencional

Cajón convencional	
item	costo (USD)
Mantenimiento mayor (HH)	\$ 84.550
Revestimiento pasta cerámica	\$ 5.400
Costo de un cajon nuevo	\$ 91.742
Costo por inactividad por falla imprevista	\$ 1.232.172
Total año por cajón	\$ 1.413.864

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-1: Costos cajón convencional

Estos costos son valores de referencia asociados al mantenimiento mayor de los cajones, es decir, considerando que el mantenimiento se realiza una vez por año y se reemplaza completo una vez que ya ha sido reparado una cantidad considerable de veces, que para el caso consideramos 15. También están considerados los costos por inactividad debido a las 15 fallas imprevistas que precedieron al mantenimiento mayor y la compra del cajón nuevo.

3.1.2. Valores asociados al cajón seccionado

Cajón seccionado	
item	costo (USD)
Mantenimiento mayor (HH)	\$ 3.156
Revestimiento pasta cerámica	\$ -
Costo de un cajon nuevo	\$ 385.620
Kit de reparacion cajón	\$ 32.580
Costo por inactividad por falla imprevista	\$ 616.086
Total año por cajón	\$ 1.037.442

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-2: Costos cajón seccionado

En este caso se considera que el cajón requiere el cambio de todas las placas de desgaste y además el reemplazo por el nuevo tipo de cajón, el costo por inactividad desciende en un 50% debido a la reducción del MTTR, tampoco se considera el uso de pasta cerámica, puesto que ya no es requerida para este tipo de cajón, podemos notar que el coste del cajón nuevo es mucho mayor que el de un cajón convencional, per se deja ver que el costo total sigue siendo menor que el de la opción anterior.

3.2. Análisis comparativo de Flujos de caja

Mediante la construcción de un flujo de caja de los costos asociados a un cajón convencional y a un cajón seccionado, se medirá el ahorro producido, para comparar la mejor opción, iterando los valores de MTBF para un cajón seccionado, puesto que no se puede determinar su valor exacto. Se consideró un horizonte de 8 años para el proyecto, pero los flujos se realizaron de forma semestral.

3.2.1. Flujo de caja cajón convencional

Para este caso como es sabido se utilizará un MTBF de 2190 horas y un MTTR de 12 horas.

Flujo de caja situación actual con MTBF 2190 horas y MTTR 12 horas									
Periodos (semestral)		0	1	2	3	4	5	6	7
Concepto									
Costos por MM (cambio de cajón)	Costo cajón nuevo								
	Costo HH cambio de cajón								
	Revestimiento pasta cerámica								
Costos por mantenimientos correctivos	Revestimiento pasta ceámica		\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800
	Inactividad por falla imprevista		\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344
Total		\$ -	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -91.742								\$ -91.742
\$ -84.550								\$ -84.550
\$ -5.400								\$ -5.400
\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800	\$ -10.800
\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344	\$ -2.464.344
\$ -2.656.836	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.656.836

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-3: Flujo de caja cajón convencional

3.2.2. Flujo de caja cajón Seccionado

Como se indico anteriormente y como se plasmó en el desarrollo de esta investigación, el MTBF para este tipo de cajón estaría indefinido, debido a que depende de las condiciones operacionales, por lo que se tomó la decisión de realizar simulaciones de flujo de caja, iterando el valor del MTBF, en primer lugar, se presenta un caso en que no se vario el MTBF, solo se modifíco el MTTR, el cual fue reducido en un 50% según lo esperado.

En segundo lugar, se presenta un caso en que el MTBF aumento al doble, es decir a 4380 horas, se presume que los componentes duraran más tiempo, debido a la nueva geometría del cajón, mientras mantenemos constante el valor de MTTR ya que este corresponde al del cambio de placas desmontables.

En tercer lugar, se presenta un caso en que el MTBF aumenta 4 veces, es decir a 8760 horas, se presume que los componentes duraran más tiempo, debido a la nueva geometría del cajón, mientras mantenemos constante el valor de MTTR ya que este corresponde al del cambio de placas desmontables.

Flujo de caja situación propuesta MTBF 2190 horas y MTTR 6 horas									
Periodos (semestral)		0	1	2	3	4	5	6	7
Concepto									
Costos por MM (cambio de cajón)	Costo cajón nuevo	\$ -385.620							
	Costo HH cambio de cajón	\$ -3.156							
	Insumos reparación cajón	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos por mantenimientos	Revestimiento pasta ceámica	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	Inactividad por falla imprevista	\$ -	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172
Total		\$ -388.776	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -32.580	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -32.580
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172
\$ -1.264.752	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.264.752

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-4: Flujo de caja cajón seccionado opción 1

Flujo de caja situación propuesta MTBF 4380 horas y MTTR 6 horas									
Periodos (semestral)		0	1	2	3	4	5	6	7
Concepto									
Costos por MM (cambio de cajón)	Costo cajón nuevo	\$ -385.620							
	Costo HH cambio de cajón	\$ -3.156							
	Insumos reparación cajón	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos por mantenimientos	Revestimiento pasta ceámica	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	Inactividad por falla imprevista	\$ -	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086
Total		\$ -388.776	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -32.580	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -32.580
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086
\$ -648.666	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -648.666

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-5: Flujo de caja cajón seccionado opción 2

Flujo de caja situación propuesta MTBF 8760 horas y MTTR 6 horas									
Periodos (semestral)		0	1	2	3	4	5	6	7
Concepto									
Costos por MM (cambio de cajón)	Costo cajón nuevo	\$ -385.620							
	Costo HH cambio de cajón	\$ -3.156							
	Insumos reparación cajón	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos por mantenimientos	Revestimiento pasta ceámica	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
	Inactividad por falla imprevista	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086
Total		\$ -388.776	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -32.580	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -32.580
\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -
\$ -32.580	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -32.580

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-6: Flujo de caja cajón seccionado opción 3

3.2.3. Comparación de flujos y cálculo de VAN

Una vez que se han calculado y tenemos la información de los flujos de caja para todos los casos, procedemos a compararlos entre si y a realizar el cálculo de indicador económico VAN mediante el uso de herramienta Excel, la tasa de descuento utilizada para este caso es del 10%, proporcionada por la compañía. Se comparan los flujos calculando el ahorro captado a través de la posible implementación de este nuevo sistema, y para ese flujo de ahorro se calcula el VAN.

Se muestran los 3 casos de comparación en las siguientes tablas.

C A S O 1	Cuadro comparativo									
	Flujo de caja	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Situación actual	\$ -	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144
	Situación propuesta MTBF 2190	\$ -388.776	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172
	Diferencia (ahorro)	\$ -388.776	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972
VAN	\$ 9.437.887									

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -2.656.836	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.656.836
\$ -1.264.752	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.232.172	\$ -1.264.752
\$ 1.392.084	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.242.972	\$ 1.392.084

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 1

C A S O 2	Cuadro comparativo									
	Flujo de caja	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Situación actual	\$ -	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144
	Situación propuesta MTBF 4380	\$ -388.776	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086
	Diferencia (ahorro)	\$ -388.776	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058
VAN	\$ 14.257.965									

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -2.656.836	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.656.836
\$ -648.666	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -616.086	\$ -648.666
\$ 2.008.170	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058	\$ 2.008.170

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 2

C A S O 3	Cuadro comparativo									
	Flujo de caja	0	1	2	3	4	5	6	7	
	Situación actual	\$ -	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144
	Situación propuesta MTBF 8760	\$ -388.776	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -616.086
	Diferencia (ahorro)	\$ -388.776	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 1.859.058
VAN	\$ 16.553.240									

8	9	10	11	12	13	14	15	16
\$ -2.656.836	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.475.144	\$ -2.656.836
\$ -32.580	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -	\$ -616.086	\$ -32.580
\$ 2.624.256	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 2.475.144	\$ 1.859.058	\$ 2.624.256

Fuente: elaboración propia

Tabla 3-7: Flujo de caja comparativo caso 3

Se entiende por la comparación que el hecho de tener una VAN positivo representa que el proyecto es viable para su desarrollo, y el llevarlo a cabo representara un ahorro para la compañía y se disminuirán las pérdidas por inactividad.

3.3. Conclusiones análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo muestra una clara preferencia, que es la opción de cajones seccionados, puesto que, si bien es cierto, representa un mayor costo de inversión inicial, los costos de los mantenimientos desarrollados en la vida útil de los componentes son bajísimos, son mantenimientos rápidos de realizar, que no requieren una mayor expertiz y los componentes son reemplazables en cualquier cajón.

Por otra parte, el cajón convencional representa un bajo costo de inversión inicial, pero los costos por mantenimiento son muy elevados, debido a la cantidad de personas que deben ser utilizadas y debido a la expertiz que requiere realizar una de estas maniobras. También consideramos que los costos por inactividad que producen la reparación de estos cajones son inaceptables para la operación, debido al alto impacto económico.

En un tercer ámbito, si consideramos el MTTR de ambas opciones, queda bastante claro que nuevamente la mejor opción es la de cajones seccionado, puesto que su mantenimiento tarda alrededor de 12 veces menos que el de un cajón convencional.

Al tomar en cuenta ahora la comparación de los flujos de caja realizados es determinante decir que la opción que mejor se acomoda es la de un cajón seccionado debido al ahorro que puede generar en un largo plazo para la empresa, hablamos de que en el caso mas desfavorable (caso1) el ahorro anual supera el millón de dólares, monto que puede ser redirigido a otras áreas, que puedan requerir más atención.

En definitiva, la opción mas conveniente es la de los cajones seccionados, tomando en cuenta las ventajas expuestas anteriormente.

CONCLUSIÓN

En efecto podemos decir que la realización de una investigación profunda ayuda a la identificación de problemas que a simple vista parecieran tener un bajo impacto, pero que su trasfondo resulte en un gran daño a la producción y a la economía de la empresa. Por otro lado, esta investigación aporó a dar una solución práctica el problema presentado, que ayuda al ahorro monetario por parte del mantenimiento y a disminuir las pérdidas por no producción operacional.

Se puede concluir que al no considerar la mantenibilidad de los equipos como parte del proceso del proyecto e incluir estos costos dentro del CAPEX, se deja de lado el costo operacional (OPEX) que más adelante se presentara por concepto de mantenimiento, el hecho de que se haya dejado de lado este aspecto, genera que las soluciones a problemáticas de mantenimiento, tengan que ser dadas en el momento de realizar el mantenimiento, incurriendo en costos ingenieriles, que pueden retrasar las tareas, generando tiempos de reparación (MTTR) extensos, en que se producen tiempos muertos de mantenimiento.

ANEXOS

Tablas Jack Knife

Clasificación de fallas	Cantidad de Fallas	Tiempo F/S horas	MTTR	Limite de cantidad de fallas	Limite MTTR
Falla en motor electrico	1	20	20	2,777777778	12,7777778
Falla correas de transmisión	3	30	10,0	2,777777778	12,7777778
Falla reductor de velocidad	5	25	5	2,777777778	12,7777778
Corte de eje	0	0	0	2,777777778	12,7777778
Falla Rotor	2	96	48	2,777777778	12,7777778
Falla manto TK	4	48	12	2,777777778	12,7777778
Falla cajon de traspaso	4	48	12	2,777777778	12,7777778
Falla válvulas neumáticas	2	4	2	2,777777778	12,7777778
Falla canaletas de rebalse	4	24	6	2,777777778	12,7777778

ISO DT 1000	20	40	100
1	20	40	100
2	10	20	50
3	6,666666667	13,333333333	33,333333333
4	5	10	25
5	4	8	20
6	3,333333333	6,666666667	16,66666667
7	2,857142857	5,714285714	14,2857143
8	2,5	5	12,5
9	2,222222222	4,444444444	11,11111111
10	2	4	10
11	1,818181818	3,636363636	9,09090909
12	1,666666667	3,333333333	8,333333333
13	1,538461538	3,076923077	7,69230769
14	1,428571429	2,857142857	7,14285714
15	1,333333333	2,666666667	6,666666667