



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE CAMBIO DE REVESTIMIENTO DEL SHELL EN MOLINO SAG PARA REDUCIR LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA MINERA DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Bach. Jorge Ortiz y Ortiz

Bach. Victor Manuel Salazar Rodriguez

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Jorge y Edita, por su tenaz ejemplo de vivir día a día y por su incansable apoyo incondicional, sus consejos, por enseñarme a distinguir el bien y el mal, por inculcarme a ser una gran persona.

A mi esposa Cenilma Torres e hijo Jorge Alexander, quienes se convirtieron en el motor que impulsa mi vida, quienes me llenan de fortaleza y esperanza y juntos poder crecer día a día, por sus palabras y acciones de aliento, por su sacrificio de soportar mi ausencia por trabajo y estudios, pero frente a todo siempre demostraron entusiasmo y amor a mi persona.

A mis hermanas María del Mar y Editha Beatriz, a todos mis familiares y amigos, por las muestras de amor y cariño, por el apoyo que me brindaron en el transcurso de cada año de mi vida y el desarrollo de mi carrera.

Jorge Ortiz

La presente tesis está dedicado a mis padres Jorge Salazar y Marina Rodriguez quienes me inculcaron el deseo de superarme y poder surgir en esta vida tan competitiva, siempre yendo por el buen camino para así poder ser un buen profesional y una persona de bien

A mis hermanos Julio, Cristian, Silvia y Ana por su apoyo con sus palabras de aliento para poder seguir adelante y triunfar como profesional.

A mi hijo Mijhail Salazar quien es el motor a superarme como persona y profesional, así mismo no rendirme y superar los obstáculos presentados en la vida.

A mi novia Marjhory Soriano por ayudarme en mi carrera, por sus consejos y por su sabiduría, por impulsarme a superarme y salir adelante.

Victor Salazar

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por mi vida, por cuidarme, por poner las oportunidades y amigos en el momento preciso a cada paso de mi vida.

A todos mis amigos y familiares que influenciaron en mi vida y que me brindan su amistad y el apoyo de llegar a desarrollarme como persona y profesional.

A todos mis seres queridos que descansan en paz, pero que me dieron con su amor y compañía un gran ejemplo a respetar y seguir en mi vida.

A todos mis docentes, compañeros de estudios y trabajo, por sus consejos, ejemplos, confianza y enseñanzas.

Gracias a todos con mucho amor y cariño.

Jorge Ortiz

Agradecer a Dios y a mis padres por la vida, por ser quienes me cuidan, me guían y ayudan a superar cada obstáculo de la vida.

A mis familiares, amigos, compañeros de estudios y de trabajo, quienes me apoyaron en cada momento impulsándome para surgir como profesional y persona.

A mis docentes por sus consejos y enseñanzas en toda mi etapa universitaria.

Gracias a todos ellos por no dejar que me rinda, les guardo un gran cariño y estima.

Victor Salazar

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema.....	22
1.3. Objetivos.....	
1.3.1. Objetivo general	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4. Hipótesis.....	23
1.4.1. Hipótesis general	23
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	24
2.1. Tipo de investigación	24
2.2. Población y muestra	25
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	25
2.4. Procedimiento	26
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	27
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS.....	40
ANEXOS	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de partes de liners del molino SAG 32' x 32'	29
Tabla 2. Personal considerado para el Cambio de Liners	30
Tabla 3. Materiales y Equipos para el Cambio de Liners.	30
Tabla 4. Costo general de la empresa internacional para cambio de los diferentes tipo de liners del Molino SAG	33
Tabla 5. Costo general de la empresa cajamarquina para cambio de los diferentes tipo de liners del Molino SAG.	34
Tabla 6. Resumen de Costos Cambio de Liners Molino SAG empresa contratista local.....	34
Tabla 7. Resumen de Costos Cambio de Liners del Molino SAG empresa contratista internacional	34
Tabla 8. Diferencia de costo por servicio empresa contratista local y empresa internacional	35
Tabla 9. Costo de Servicios por año Empresa contratista local	35
Tabla 10. Diferencia de costos por año.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Liners Tapa de Alimentación Molino SAG 32' x 32'	13
Ilustración 2. Inspección de Liners Shell.....	15
Ilustración 3. Backing Rubber despegado al retirar los liners Shell del molino SAG	16
Ilustración 4. Máquina manipuladora de liners de capacidad 4500 kg.....	18
Ilustración 5. Antes y después de los diferentes diseños de parrillas de descarga	19
Ilustración 6. Estructura interna de un molino semi autógeno	25
Ilustración 7. Diseño del elevador de liners	31
Ilustración 8. Metrado del elevador de liners.....	32
Ilustración 9. Plataforma deslizante para la extracción de pernos	33

RESUMEN

Este trabajo de investigación está enfocado en presentar alternativas técnica-operativas con el objetivo de mejorar el proceso del cambio de revestimiento del Molino SAG en una Empresa Minera de Cajamarca, con el propósito de reducir los costos que derivan de estos trabajos. Estas ideas de mejora se desarrollan en la presente tesis a través de tres aspectos claramente definidos; el primer aspecto que se toma en cuenta es la contratación de personal local, para realizar el trabajo de cambio de liners como alternativa ante la opción de contratar personal especializado de otros países para el desarrollo de un proyecto de cambio de liners. El segundo aspecto que se toma en cuenta es la utilización de herramientas de última tecnología, con el objetivo de lograr la eficiencia que facilitan el logro de los objetivos trazados durante el cambio de liners del molino semiautógeno (SAG). El tercer aspecto que se toma en cuenta está la propuesta del diseño y construcción de una herramienta auxiliar para el transporte de liners desde la parte inferior del molino hacia la parte superior y viceversa, esto como reemplazo de la grúa de 25 TM, que actualmente se viene utilizando para estos trabajos. Los tres aspectos anteriormente mencionados, tiene como principal finalidad lograr la eficiencia del proceso, durante la parada programada del molino SAG y finalmente lograr la reducción de costos, planteado en el objetivo general del presente trabajo de investigación. Se concluye que la Empresa Contratista internacional cobra por año \$ 822,096 y la Empresa Contratista local \$ 433,372. La diferencia de costos por año al contratar a la Empresa local, como alternativa ante la contratación de personal o Empresa internacional es de \$ 388,724 (Trescientos ochenta y ocho mil setecientos veinticuatro dólares).

Palabras clave: Revestimiento, liners, semiautógeno.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el Perú la industria minera sigue siendo una de las principales fuentes de ingreso, por lo que es necesario desarrollar diversas soluciones enfocadas en incrementar la eficiencia y seguridad de los trabajos de mantenimiento de molinos SAG. Una parte importante del proceso de mantenimiento de molinos es el cambio de liners o revestimientos, que se realiza cada seis meses aproximadamente a través de paradas programadas del molino; en este período de tiempo no hay producción, causando pérdidas importantes en la empresa minera, además el dinero que se gasta en estos trabajos es considerable.

La causa más importante de la parada de molinos SAG, es el mantenimiento por reemplazo de liners de acero gastados. Los fenómenos físicos del proceso de molienda dentro del molino, quienes reducen la vida útil de los liners, generan paradas más frecuentes, y los procedimientos de trabajo o acciones que se realizan durante el cambio de liners (desmontar chutes de alimentación, movilización y posicionamiento de la máquina enlainadora, para manipular los liners, movilización de martillos(thunderbolts), para remover los pernos de los liners gastados, traslado de los liners nuevos y gastados mediante winches o grúas, etc.). Los revestimientos, además, poseen un impacto directo en los costos operacionales del molino; el costo de mantenimiento de estos molinos por una hora varía entre US\$ 10,000 y US\$ 30,000 dependiendo de las tasas de producción y las dimensiones de estos.

En la actualidad los costos administrativos que derivan del cambio de liners son altos, debido a la contratación de empresas y/o personal internacionales, quienes cobran altas

remuneraciones por su servicio, además de los gastos en viáticos, y hospedaje durante el tiempo que dura el enlainado.

Carneyro (1989) destaca que el tiempo de parada más significativo del molino es causado por las maniobras y acciones de reemplazos de los liners desgastados, por su alta incidencia en los costos. Respecto a esta problemática Austin (1987) señala que este costo (reemplazo) es cinco veces más que el costo de compra promedio de los liners.

Arriata (2006) en su investigación sobre la planta SAG Codelco Chile, con el tema “Modelo matemático para la estimación de la vida útil de revestimientos en molinos semi-autógenos”; presenta y discute un modelo matemático empírico, para estimar la vida útil de los revestimientos de acero utilizados en molinos semi-autógenos (SAG), que está delimitada principalmente por el desgaste. El modelo matemático diseñado e implementado para la planta SAG de la División Andina de Codelco Chile, tiene como principal finalidad el desarrollo de un algoritmo programable que permita predecir en el tiempo una estimación de la vida útil de los revestimientos del molino, en base a los datos observados de las mediciones de desgaste de los revestimientos y la molienda (tonelaje) producida por estos; estas variables principales se ajustan mediante mínimos cuadrados, a una relación funcional del tipo curvilínea, obteniéndose numéricamente un intervalo de las probables fechas de reemplazo basado del análisis estadístico de los datos productivos históricos de planta.

(El Teniente, 2014) en su Excelencia Operacional se describe el exitoso cambio de revestimiento del SAG 1; se detalla el cambio de Liners del Molino SAG 1, que se llevó a cabo el día viernes 19 de Diciembre del 2014, que se adelantó en un mes respecto de lo inicialmente programado, como forma de optimizar los procesos y

buscar un 2015 con mayor continuidad operacional. En forma exitosa dentro de los tiempos y sin accidentes el 19 de diciembre del 2014, culminaron los trabajos de mantenimiento del molino SAG 1, que permitirá a la gerencia de Plantas programar de mejor manera la operación del 2015. Unos 210 trabajadores de las empresas Maestranza Roche y Cainsa se sumaron a las labores en la Planta SAG 1 y, bajo la supervisión de los integrantes de El Teniente efectuaron la tarea de cambiar los revestimientos del molino principal. “Este es uno de los mantenimientos más importantes dentro del año normal, ya que independiente de la cantidad de días de parada del molino, implica mucha gente trabajando, viene mucho personal externo y ello requiere una rotación importante de turnos continuos, por lo que es crucial el control en materia de seguridad”

En el informe se menciona que el cambio de revestimiento en esta mina, se efectúa cada 6 meses con el objetivo de mantener “levante” al interior del molino, generando lo que se conoce como “riñón de impacto”, que permite a su vez una mayor calidad de molienda. Oscar Fuentes, jefe de unidad de mantenimiento SAG, explicó que la intervención debió hacerse en enero 2015, pero el equipo vio una oportunidad productiva y decidió adelantarse en un mes. “Como son dos cambios al año, el poder anticipar esta detención a diciembre, dado el buen rendimiento que hemos tenido, nos abre una oportunidad de procesamiento al permitir que en el 2015 se tenga potencialmente un solo cambio de revestimiento, y ahí hay 105 horas que las tenemos invertidas ahora”, indicó.

En la sección Cero Accidente del mismo informe, indica que: La evaluación de esta actividad de mantenimiento fue doblemente positiva, ya que además de lograr el cambio en las 105 horas inicialmente programadas, se hizo sin accidentes. Jorge

Venegas recalca la importancia de la planificación y la revisión de los riesgos a que iban a estar sometidos los trabajadores, en especial porque muchos de ellos no están habituados a este tipo de operaciones. “En nuestras inspecciones en terreno encontramos que la calidad de los Análisis de Riesgo de la Tarea está cada día mejor y eso nos ayuda a que el control pueda mirar no solamente el ART mismo, sino enfocarse en las tareas. El trabajo de la supervisión, junto con las empresas contratistas ha sido enorme y ello se ve en los resultados sin desviaciones en materia de seguridad”

La detención del Molino SAG 1 sirvió para hacer debutar una iniciativa piloto que busca reforzar el trabajo de la supervisión en terreno apuntando a la cero accidentabilidad. Para el cambio de revestimiento se instalaron 5 cámaras en el SAG 1 y una en el área de recuperación de agua con el objetivo de hacer una revisión constante en materia de seguridad. Juan Arce, asesor de seguridad de la Superintendencia de Molienda Convencional, estima que esta implementación representa un apoyo al tener una visión general de las áreas, que se suma a la presencia constante en terreno.

Rodríguez (2010) indicó que la mayor parte del tiempo de detención en los molinos es el mantenimiento y cambio de liners o revestimientos, el cual debe planificarse conjuntamente con los periodos de mantenimiento general de la planta, con el objeto de disminuir la indisponibilidad del molino por causa de este trabajo.

(Metso Minerals, 1999) indicó que el tiempo de indisponibilidad por mantenimiento programado más significativo del molino corresponde al cambio de los revestimientos, el cual debe planificarse conjuntamente con los periodos de mantenimiento general de la planta, con el objeto de disminuir la indisponibilidad del molino por causa de este trabajo.

El beneficio que se obtiene con esta mejora es netamente ahorro de costos, con el diseño y utilización de la plataforma deslizante para la extracción de pernos, se optimiza el tiempo de ejecución del enlainado, también se presenta un diseño para la construcción de un winche transportador de liners, como reemplazo de una grúa de 15 TM, que actualmente se viene utilizando. Se espera con este proyecto de tesis contribuir con aplicaciones prácticas para reducir costos en el proceso de Cambio de Liners de Molinos SAG (Chillcce, 2012).

Los revestimientos para molinos SAG, son elementos de desgaste que cumple la función de protección al casco del molino y también transmite energía a la carga para desarrollar el proceso de molienda. Estos revestimientos están diseñados para ser forros de sacrificio para proteger los cilindros del molino y para mejorar el movimiento del mineral en el molino a fin de aliviar la máxima cantidad de mineral posible del yacimiento. (Chillcce, 2012).

La mayor parte del tiempo de detención en los molinos es el mantenimiento y cambio de revestimientos interiores del molino. A continuación se describe y analizan estos componentes. La función de un revestimiento es proteger la estructura del molino contra el desgaste, empero, cada componente del revestimiento presenta tareas específicas. Los revestimientos ubicados en el manto o cilindro del molino, además de proteger la estructura del molino, transfieren energía al interior del molino y regula el movimiento de la carga y la distribución espacial energética de los eventos de impacto que se producen. (Fig. 2) (Chillcce, 2012).



Ilustración 1. Liners Tapa de Alimentación. Molino SAG 32'X32'

Fuente: Empresa Minera en estudio

Los revestimientos de las tapas cumplen diferentes funciones. En la tapa de alimentación, estos revestimientos cumplen la función de proteger contra el desgaste, en cambio, en la tapa de descarga cumplen la función de clasificar el producto que se está moliendo y controlar el nivel de llenado, además del transporte de carga. En la actualidad se utilizan los siguientes materiales para la fabricación de revestimientos de molinos SAG:

Revestimientos de Aceros al Cromo-Molibdeno de carbono medio.

Revestimientos de Fundiciones blancas de alto Cromo.

Revestimientos fabricados de Elastómeros.

Cada uno de estos revestimientos tiene propiedades diferentes, que definen el uso que se les dará.

Los revestimientos fabricados de Acero al Cromo-Molibdeno de carbono medio, se utilizan en aplicaciones de elevado impacto, tales como revestimientos para molinos SAG y molinos de bolas de gran tamaño. La dureza que normalmente se puede encontrar en estos revestimientos se encuentra en el orden de 320 a 360 Brinell.

Los revestimientos fabricados de Fundiciones blancas de alto Cromo se utilizan en zonas de grandes molinos donde el impacto es limitado o casi nulo y en molinos pequeños se aplican variados tipos de fierro fundido aleado con Cromo, Molibdeno y principalmente Cobre. Estas aleaciones alcanzan durezas y resistencias al desgaste mayores que los aceros debido a que poseen una mayor cantidad de carburos en la micro estructura de esta fundición. Su desventaja es la limitada resistencia al impacto. Empero, el mayor control metalúrgico del proceso de fundición ha mejorado notablemente la tenacidad de este tipo de aplicación a los revestimientos. (Chillce, 2012).

Los revestimientos fabricados de Elastómeros presentan excelentes propiedades de desgaste, debido a la gran capacidad de deformación y disipación de energía. Los molinos de bolas convencionales son revestidos con elementos de goma en su mayoría. Sus ventajas más notorias son el poco peso que tiene la pieza y la facilidad de cambio, también reducen la emisión de contaminación acústica y presentan una excelente resistencia al desgaste. En la molienda semiautógena SAG esta aplicación se encuentra limitada, debido a que la goma resiste de mala manera el exceso de deformación causado por partículas de mayor tamaño. (Chillce, 2012).

Una deficiente operación del molino, con el propósito de aumentar la producción, aumentando la velocidad, golpeando los revestimientos, produce paradas de molino más largas y frecuentes. De igual manera utilizar los liners hasta que se encuentren lisos, tampoco es conveniente, debido a la baja producción que se realiza en esta condición. Sin duda alguna los revestimientos deben ser gestionados bajo una perspectiva conjunta de operación y mantenimiento. La gestión de los revestimientos se desarrolla bajo la combinación de diferentes actores como:

Personal de operaciones y mantenimiento de planta,

Empresa proveedora de los revestimientos,

Empresa colaboradora, encargada de realizar el cambio de los revestimientos, y;

Empresa colaboradora, encargada de realizar mediciones de espesor a los revestimientos una vez que se encuentren en operación, para su monitoreo continuo.

La tarea de monitoreo de revestimientos de molinos SAG, se realiza de manera mensual. Ésta tarea debidamente programada sirve para realizar mediciones al estado de desgaste, evaluando el espesor de los revestimientos a través de un equipo de ultrasonido, colaborando en esta tarea también, la empresa encargada de realizar el cambio de los revestimientos.



Ilustración 2. (Izquierda) Inspección de Liners Shell. (Derecha) se observa incrustación de bolas en agujeros de los pernos del Molino SAG 32´x 32´

Fuente: Empresa minera en estudio.

Muchas veces en el Proceso de Cambio de Liners se encuentra imprevistos, como es el caso del Backing rubber, cuando este queda despegado se tiene que reparar dentro de las horas programadas, porque esta actividad es siempre la ruta crítica en las paradas. Dentro de las actividades de cambio de revestimientos se incluyó la reparación del Backing rubber. (Ilustración 3)



Ilustración 3. Backing Rubber despegado, al retirar los liners Shell del Molino SAG.

Fuente: Empresa Minera en estudio.

Un Manipulador de Revestimientos de Molinos es una máquina diseñada con el propósito de extraer e insertar los revestimientos en molinos. El Manipulador de Revestimientos de Molinos, como lo son hoy, fueron inventados por John Russell para hacer el proceso de cambio de revestimientos de molinos más rápido, más seguro y más fiable. Antes de la introducción del moderno Manipulador de Revestimientos de Molinos, los mineros recurrieron a una variedad de métodos peligrosos e ineficaces en gran medida para la remoción e inserción de revestimientos, incluyendo grúa montadas sobre camiones, grúas, cadenas y poleas, y la fuerza humana bruta. Por estas razones, la manipulación de los revestimientos era a menudo una mano de obra intensiva, peligrosa y consumía mucho tiempo. (Chillce, 2012).

Una Máquina para Revestir Molinos es diferente a un Manipulador de Revestimientos de Molinos de varias maneras:

Una máquina para Revestir Molinos está equipada con un mecanismo de garra el cual sujeta con seguridad revestimientos nuevos, y les permite ser maniobrados con precisión en la posición exacta, sin intervención manual. Un Manipulador de Revestimientos de Molinos utiliza una eslinga para llevar el nuevo revestimiento desde el carro o desde el suelo del molino a la ubicación general, donde el revestimiento debe ser fijado e intervención manual es requerida para posicionar el revestimiento listo para atornillar.

Una máquina para Revestir Molinos puede colocar revestimientos por encima de la línea central del molino mientras que un Manipulador de Revestimientos de Molinos por lo general sólo puede ser utilizado para eslingar revestimientos en su posición por debajo de la línea central del molino debido a la necesidad de intervención manual para acoplar el revestimiento con el cilindro del molino. (Chillce, 2012).

El Manipulador de Revestimientos de Molinos sólo tiene tres ejes de movimiento, mientras que una máquina para revestir molinos normalmente tiene siete o más. La grapa es considerada para los 4 o 5 ejes adicionales de diferencia entre un Manipulador de Revestimientos de Molinos y una Máquina para Revestir Molinos.

La Máquina para Revestir Molinos por lo general es diseñada para manipular revestimientos de mayor tamaño y masa, mientras que Manipuladores de Revestimientos de Molinos son diseñados para levantar revestimientos más pequeños y ligeros de hasta 1500 Kg.) La razón del límite de 1500 kg para los Manipuladores de Revestimientos de Molinos es que manipular revestimientos más pesados a 1000 Kg en el lugar puede ser inseguro y lento. (Chillce, 2012).



Ilustración 4. Máquina manipuladora de liners de capacidad 4500 kg. Mill Relining Systems de RME.

Fuente: Empresa Minera en estudio.

Poco después de la puesta en marcha el molino SAG, de la empresa Minera en estudio, sucedieron una serie de problemas operacionales incluyendo una rejilla con problemas de reducción en el rendimiento y sobrecargas de molino. Se adoptaron controles a corto plazo que consistía en cortar manualmente las virutas de bolas de las ranuras de la parrilla cada 10-20 días, mientras se obtienen y fabrican diseños de rejillas alternativos. Cuatro diseños de parrilla diferentes fueron probados simultáneamente parrilla tragamonedas, romboides, rejillas de acero y caucho / metal, rejilla compuesta con ranuras rectangulares más pequeñas. Esfuerzos paralelos tenían como objetivo reducir las tasas de rotura a través de la optimización de las condiciones de funcionamiento del molino (velocidades más lentas y de sonido más baja) y mejorar la calidad de las bolas de acero. En febrero de 2009 se instalaron cuatro formas de rejillas con ranuras de forma diferentes, y se muestran en Figura 4; tres de las rejillas de Code Factory eran de metal y uno era un compuesto de caucho / metal.



Ilustración 5. Antes y después de los diferentes diseños de parrillas de descarga.

Fuente: Empresa Minera en estudio.

Los resultados del ensayo confirmaron que las rejillas de acero sufrieron desgaste grave (90% del área desgastada), independientemente del diseño de la ranura y el ángulo de alivio, mientras que las rejillas de goma flexible con paneles no sufrieron un desgaste significativo. Las rejillas de goma han sido objeto de varias novedades dirigidas a extender la vida útil entre 5 a 6 meses, de forma que coincide con la vida de los lifter o elevadores. Los pernos del revestimiento se aflojarán durante la operación, especialmente en el caso de un nuevo conjunto de revestimiento. Las fugas en los pernos del revestimiento son una indicación certera de esta situación. Se tiene que detener el molino y ajustar de inmediato. Los pernos del revestimiento flojos causarían la elongación de los orificios de los pernos, ocasionando reparaciones costosas e innecesarias.

Rodríguez (2010) sostiene que el objetivo principal del mantenimiento es conservar todos los activos que componen los eslabones del sistema, de forma directa o indirecta solicitados a servicios, en condiciones de funcionamiento, con un alto nivel de confiabilidad, disponibilidad y al menor costo. La importancia del mantenimiento, tiene directa relación entonces con los objetivos de las empresas, ya que estas cada día

cuentan con mayores exigencias de operación, productividad y cumplimiento de entrega en plazos previamente establecidos. Por lo tanto, la finalidad del mantenimiento es “conseguir el más alto nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios, con la menor contaminación posible al medio ambiente y la mayor seguridad para el personal al menor costo posible.

Una de las tareas más relevantes del mantenimiento es eliminar el estado de falla de un equipo ya sea de manera correctiva, o mejor aún, proactiva. De esta manera se acerca a una aplicación sistemática del mantenimiento, aumentando de esta manera la vida útil del equipo intervenido. Otra finalidad importante es la calidad requerida por el producto, o sea mantener en funcionamiento regular la producción sin fallas ni distorsiones, eliminando averías que afecten su calidad. Mantener la protección en aquellos equipos e instalaciones, que puedan provocar fugas de contaminantes, y evitar así, averías que desembocan en poluciones.

Las variables del mantenimiento son: Fiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y calidad.

La Fiabilidad es la probabilidad de que las instalaciones, máquinas o equipos, se desempeñen satisfactoriamente sin presentar falla alguna, durante un periodo determinado y bajo condiciones muy bien definidas.

La Disponibilidad es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado. Entonces la disponibilidad depende de: La frecuencia de ocurrencia de las fallas, y; El tiempo que demande reanudar el servicio.

La Mantenibilidad es la probabilidad de que una máquina, equipo o sistema pueda ser reparado a una condición específica, en un periodo de tiempo determinado, en tanto su

mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad.

La Calidad es aquella que ocupa un lugar primordial. El mantenimiento debe tratar de evitar las fallas, restablecer el sistema lo más rápido posible y dejarlo en condiciones óptimas de operación para los niveles de producción y calidad exigidos.

La Seguridad está referida al personal, instalaciones, equipos, sistemas y máquinas, no se puede omitir. Esta condición se debe mirar con el objetivo dar cumplimiento a demandas y normas pactadas anteriormente.

El presente trabajo de investigación se justifica en la medida en que se plantea alternativas de solución para reducir costos, primeramente se plantea contratar a personal especializado netamente Peruano-Cajamarquino en vez de emplear mano de obra calificada de otros países, que aumentaría los costos por los viáticos, alimentación y estadía en nuestra región, además de las altas tasas de remuneración que se cobran por este servicio. En segundo lugar se plantea mejoras en el plano técnico operacional del procedimiento de trabajo, incorporando innovaciones que reducen los tiempos de ejecución de las actividades del cambio de liners del molino SAG, a la vez respetando o incluso elevando los estándares de seguridad en la ejecución de este trabajo.

El beneficio que se obtiene con esta mejora es netamente ahorro de costos, con el diseño y utilización de la plataforma deslizante para la extracción de pernos, se optimiza el tiempo de ejecución del enlainado, también se presenta un diseño para la construcción de un winche transportador de liners, como reemplazo de una grúa de 25 TM que actualmente se viene utilizando. Se espera con esta tesis contribuir con aplicaciones prácticas para reducir costos en el proceso de Cambio de Liners de Molinos SAG.

Con el propósito de optimizar el proceso y reducir costos, se propone implementar mejoras en los trabajos del cambio del revestimiento del shell del molino SAG, para lograr eficiencia en el proceso; se utiliza el diseño de equipos y herramientas auxiliares y se contrata a personal certificado netamente peruano-cajamarquino, para efectuar estos trabajos.

1.2. Formulación del problema

¿Para qué optimizar el proceso de cambio de revestimiento del shell en el molino SAG en una Empresa Minera de Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Optimizar el proceso de cambio de revestimiento del shell en el molino SAG, para reducir costos de mantenimiento en una Empresa Minera de Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir el procedimiento para cambio de revestimiento del shell en el molino SAG 32' x 32' de la empresa Minera de Cajamarca.
- Describir el plan de mejora para el cambio de revestimiento en el shell del molino SAG 32' x 32' de la empresa Minera de Cajamarca.
- Evaluar los costos de la empresa contratista internacional y la empresa contratista local por el trabajo del cambio de revestimiento en el shell del molino SAG.
- Evaluar el Costo de servicio por año, entre la empresa contratista internacional y la empresa contratista local por el trabajo del cambio de revestimiento en el shell del molino SAG.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La optimización del proceso de cambio de revestimiento del shell en el molino SAG podrá reducir los costos de mantenimiento en una Empresa Minera en Cajamarca.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El proyecto que se presenta corresponde a una investigación de tipo Aplicada, con diseño No Experimental, Descriptivo, ya que se describe el proceso de cambio de revestimiento en el shell del molino SAG, para plantear un plan de mejora y optimizar este mantenimiento para reducir los costos de mantenimiento en una empresa Minera de Cajamarca.

De acuerdo con Hernández et al (2014), la investigación va a cumplir dos propósitos básicos: La investigación básica, que es la que realiza conocimientos y teorías. La investigación aplicada, que es la que soluciona problemas prácticos.

Hernández et al (2003), clasifican al diseño de investigación en experimental y no experimental. Como su nombre lo dice el diseño experimental, es una situación de control, la cual se manipulan, de manera intencional, una o más variables independientes (efectos): por otro lado el No Experimental se define como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. También indica Sampieri “los estudios descriptivos permiten detallar situaciones y eventos, es decir, como es y cómo se manifiesta determinado fenómeno y busca especificar propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población

Proceso de cambio de revestimiento o liners del molino SAG de la Empresa Minera de Cajamarca.

Muestra

Cambio de revestimiento del Shell en el molino SAG de la Empresa Minera de Cajamarca.

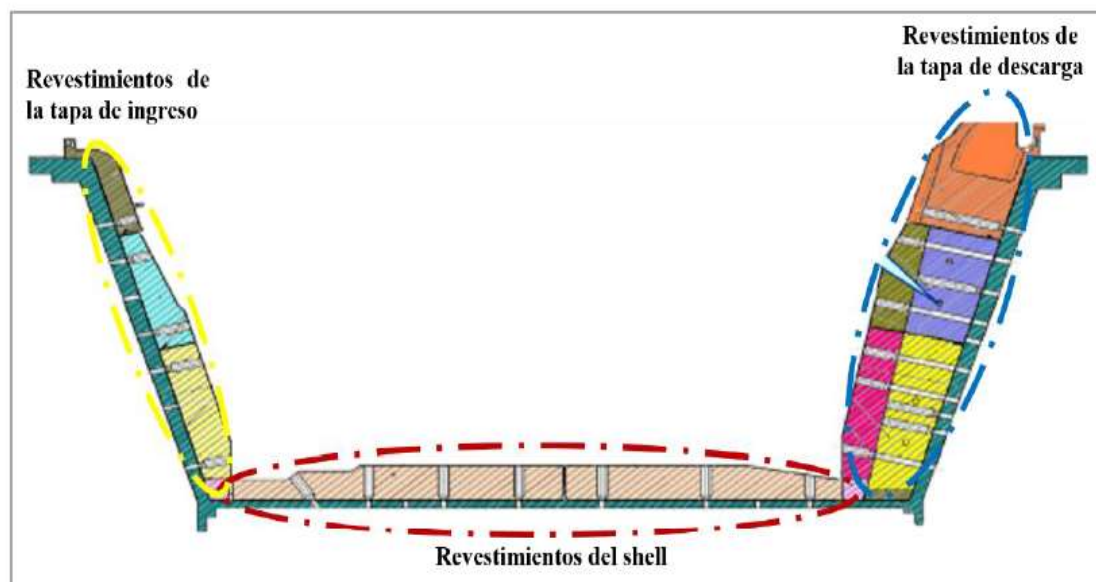


Ilustración 6. Estructura interna de un molino semi autógeno.

Fuente: Antamina 10 años de operación.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación directa

Se realizó la observación directa en campo, lo cual permitió el reconocimiento de los elementos que conforman el revestimiento del molino SAG.

2.3.2. Análisis documental

Se recolectó la información de la empresa minera en estudio como Informes, procedimientos de trabajos, propuestas económicas, para el cambio de liners, ejecutado por Empresas Internacionales y locales.

2.3.3. Recolección de datos en campo

Se utilizó un Equipo de filmación, durante las 72 horas que dura la parada programada del molino SAG., para un mejor análisis de los procedimientos de trabajo.

Los Instrumentos utilizados en la recolección de datos fueron: Informes, procedimientos de trabajos. Propuestas económicas, para el cambio de liners, ejecutado por Empresas Internacionales y locales. Equipo de filmación, durante las 72 horas que dura la parada programada del molino SAG. Para un mejor análisis de los procedimientos de trabajo.

La información obtenida, fue tabulada en hojas Excel para su mayor interpretación.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Gabinete

Se recolectó toda la información de diferentes páginas web, libros y tesis de los repositorios de la Universidades.

2.4.2. Campo

La investigación se realiza in situ, se observa, evalúa y analiza las diferentes actividades relacionadas con el cambio de liners, se entrevista a supervisores de las empresas especializadas en estos trabajos.

2.4.3. Gabinete

Finalmente, luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros comparativos de costos y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Procedimiento para cambio de revestimiento del shell en el molino SAG de la empresa Minera de Cajamarca

Con este procedimiento se realiza el trabajo en 72 horas con un recurso humano de 30 personas.

3.1.1 Procedimiento para el retiro de revestimiento del shell en el molino.

- a) Instalar plataforma de acceso al interior del molino.
- b) Monitorear gases en interior del molino.
- c) Lavar el interior del molino para asegurar que no haya bolas o algún material atrapado en los liners que pueda caer y causar daño personal y/o material; usando agua a presión.
- d) Instalar los extractores de gases al interior del molino.
- e) Retirar plataforma de acceso pernos
- f) Se requiere de 4 personas como mínimo para la operación del thunderbolts.
- g) El siguiente paso es botar los pernos intercambiando las puntas de extracción

Concluida la extracción de pernos, se jala los liners que se van a retirar con ayuda del carro enlainador.

- h) Los pernos y liners desprendidos se retiraran con el apoyo del carro enlainador, en el cual se sujetara el gancho del mismo con una cadena de dos brazos el cual depositara sobre el carro de alimentación y con ayuda del montacargas se ubicara en el área designada a pernos y liners usados.

- i) Lavar y revisar el estado de los Backing rubber antes de la instalación de los liners nuevos. Paralelamente se procederá a limpiar los agujeros con escobillas de acero para que al montar los pernos nuevos estos pasen con cierta facilidad y evitar que se deteriore el hilo o se ensucie y nos podría provocar un apriete falso
- j) Cuando el liners se encuentre en la posición correcta proceder a colocar los pernos, estos no deben entrar demasiado forzados ya que se corre el riesgo de dañar el hilo.
- k) Cuando salgan los pernos en la parte exterior se colocara primero la goma con silicona en ambas caras y luego la arandela metálica, posteriormente la tuerca, se ajusta suavemente y se le da el torque correcto con la ayuda de la pistola neumática.
- l) Concluida la instalación de los liners nuevos y el retiro de materiales extraños del interior del molino, todo el personal deberá retirar sus bloqueos, para energizar el molino.
- m) El electricista será el único encargado en posicionar el molino. Posicionado el molino, el líder del equipo ordenará el bloqueo correspondiente del molino para continuar con el retiro de las siguientes filas de liners.
- n) Repetir los pasos anteriores hasta completar el cambio total de liners dada la conformidad por la supervisión acerca del trabajo concluido se procederá a retirar el enlainador y todos los equipos y herramientas utilizados en el exterior del molino. Seguidamente se repondrán todas las guardas de seguridad del molino.

3.1.2 Instalación de revestimiento del Shell en el molino.

- a. Seguidamente se procede al montaje de los revestimientos del Shell (liners nuevos), solo en 3 filas del Shell dejando siempre una fila libre antes de girar el molino; esto para facilitar la caída de las siguientes filas de liners. la alimentación de los liners será por la parte posterior del enlainador con la ayuda del Montacargas.

3.1.3 Pruebas de funcionamiento y entrega de equipos

- a. Retirar bloqueo de aislamiento de energía.
- b. Arrancar y monitorear al molino.
- c. Entregar el equipo a Supervisor de Operaciones.

Tabla 1

Lista de partes de revestimiento del Shell en el molino SAG 32' x 32'

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
TAPA DE CARGA		
1	Feed deflector liner	12
2	Feed head inner liner	12
3	Feed head outer liner	24
4	Corner cilinder liner	24
CUERPO DEL MOLINO		
5	Fe cilinder liner - low	27
6	Fe cilinder liner - high	27
7	Middle cilinder liner-low	54
8	Middle cilinder liner-high	54
9	De cilinder liner – low	27
10	De cilinder liner - high	27
TAPA DE DESCARGA		
11	Discharge grate	24
12	Discharge head liner	12
13	Inner pulp lifter	12
14	Outer pulp lifter	24
15	Discharge corner block	24
TOTAL		384

Fuente: Empresa Contratista local

Tabla 2

Personal considerado para el Cambio de revestimiento del shell

Especialidades	Cantidad
Supervisor	2
Supervisor de Seguridad	2
Capataz	2
Operador Enlainadora	2
Mecánicos	22
Total	30

Fuente: Empresa Contratista local

Tabla 3

Materiales y Equipos para el Cambio de revestimiento del shell

Descripción	Cantidad
Martillo Bota pernos (thunderbolt)	4
Llave de Impacto Neumática Ingersoll Rand 5980	4
Maquina enlainadora	1

Fuente: Empresa Contratista local

3.2 Descripción del plan de mejora para el cambio de revestimiento del shell en el molino SAG 32' x 32' de la empresa Minera de Cajamarca.

Este plan de mejora consiste en utilizar un sistema de elevación para el traslado de liners desde la parte inferior a la parte superior del molino y viceversa, consiste en una estructura metálica que contiene en su interior una jaula con una base sólida, sobre la cual se depositará los liners haciendo uso de un montacargas en la parte superior, y con otro montacargas en la parte inferior del molino, para recibir los liners.

CANTIDAD DE PERSONAL A UTILIZAR:

Operador de Montacargas: 2

Operador de Elevador de Liners: 1

VENTAJAS:

Menor cantidad de trabajadores para las maniobras de izaje de cargas.

Mayor rapidez para el traslado de liners.

Disminuye los riesgos de accidentabilidad, debido a cargas suspendidas, golpes, chancaduras al manipular los liners.

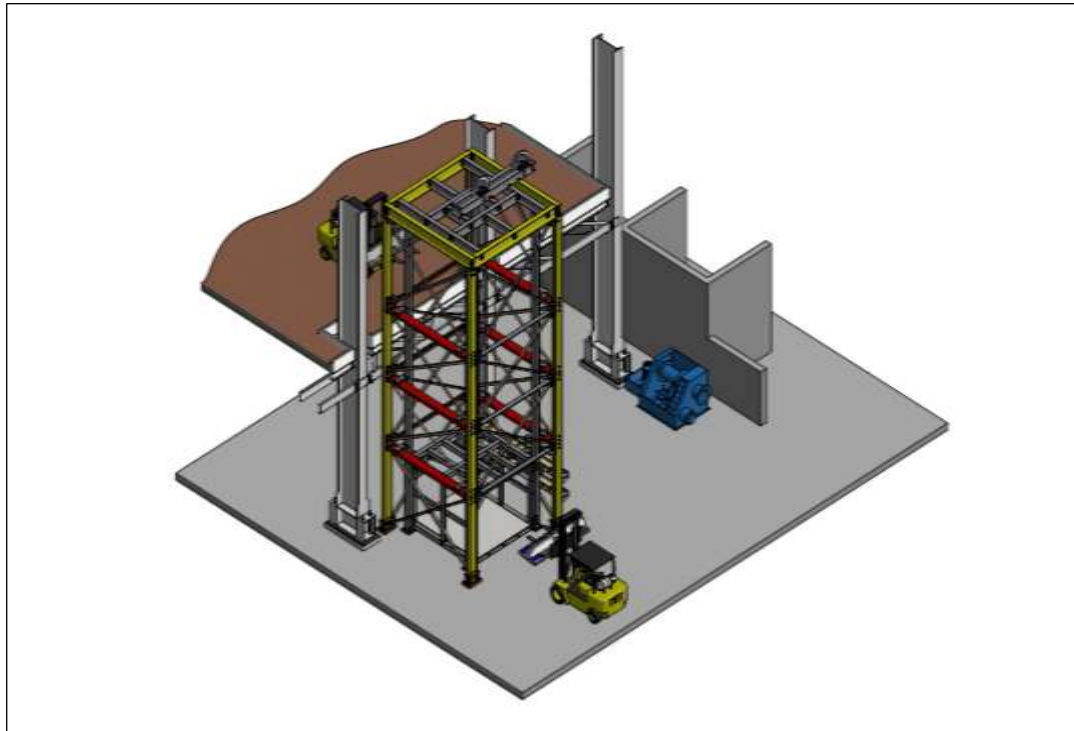


Ilustración 7. Diseño del elevador de liners.

Fuente: Empresa Contratista local

METRADO 01		
ELEVADOR		
MATERIAL	LONG.TOTAL(mm)	VARIABLES(5m)/ CANT. (u)
W12"x30	25200	4.20
W12"x26	19200	3.20
W12"x45	13200	2.20
C6"x10.5	6800	1.13
C12"x20	940	0.16
C12"x25	4640	0.77
L3"x3"x3/8"	8000	1.33
PERNO DE 3/4"-10UNC x 20"	-	788
PERNO DE 3/4"-10UNC x 40"	-	20
CHUMACERAS Di=47/16"	-	6
POLEAS Ø30" CANAL Ø1"	-	3
ACERO MAQUINABLE BOEHLER Di=47/16"	506	2
ACERO MAQUINABLE BOEHLER Di=47/16"	486	1
METRADO 02		
CANASTILLO		
MATERIAL	LONG.TOTAL(mm)	VARIABLES(5m)/ CANT. (u)
W6"x25	59600	9.3
C6"x10.5	19200	3.2
PL. ASIMA-36-3/8"	150*80	60
PL. ASIMA-36-3/8"	160*130	02
PL. ASIMA-36-3/4"	260*140	02
PL. ASIMA-36-1/4"	80*80	02
PL. ASIMA-36-3/8"	260*230	16
PL. ASIMA-36-3/8"	1200*2400	1
PL. ASIMA-36-1/4"	2550*2700	1

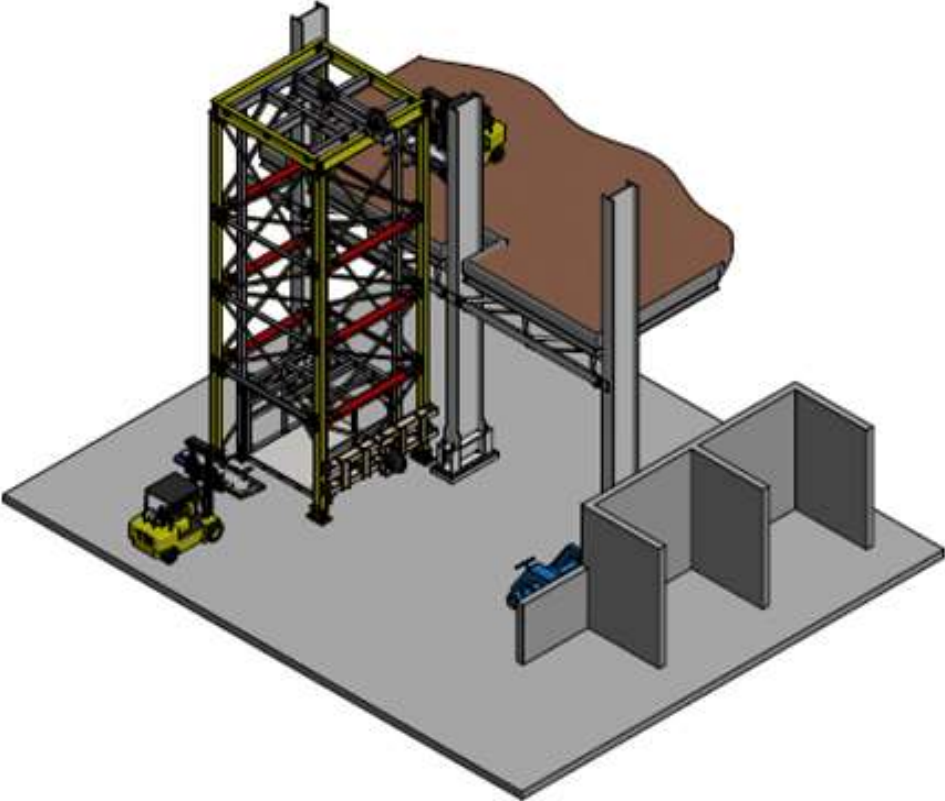


Ilustración 8. Metrado del elevador de liners.

Fuente: Empresa Contratista local



Ilustración 9. Plataforma deslizante para la extracción de pernos.

Fuente: Empresa Contratista local

3.3 Evaluación de los costos de la empresa contratista internacional y la empresa contratista local por el trabajo del cambio de revestimiento del shell en el molino

SAG

Tabla 4

Costo general de la empresa internacional para cambio de los diferentes tipos de liners del Molino SAG.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO EN DOLARES		
	TAPA DE CARGA		\$/UNID	SUB TOTAL \$	28742.40
1	Feed deflector liner	12	399.2	4790.40	
2	Feed head inner liner	12	399.2	4790.40	
3	Feed head outer liner	24	399.2	9580.80	
4	Corner cilinder liner	24	399.2	9580.80	
	CUERPO DEL MOLINO				49982.40
5	Fe cilinder liner - low	27	231.4	6247.80	
6	Fe cilinder liner - high	27	231.4	6247.80	
7	Middle cilinder liner-low	54	231.4	12495.60	
8	Middle cilinder liner-high	54	231.4	12495.60	
9	De cilinder liner – low	27	231.4	6247.80	
10	De cilinder liner - high	27	231.4	6247.80	
	TAPA DE DESCARGA				51765.60
11	Discharge grate	24	585.9	14061.60	
12	Discharge head liner	12	585.9	7030.80	
13	Inner pulp lifter	12	585.9	7030.80	
14	Outer pulp lifter	24	585.9	14061.60	
15	Discharge corner block	24	399.2	9580.80	
	TOTAL	384	Costo total	130490.40	

Fuente: Empresa Contratista internacional

Tabla 5

Costo general de la empresa cajamarquina para cambio de los diferentes tipos de liners del Molino SAG.

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	COSTO EN \$
1	Tapa de carga	28586
2	Tapa de descarga	51766
3	Cuerpo, cilindro o shell	49982
4	Tapa de carga + tapa de descarga	60820
5	Cuerpo + tapa de carga	64200
6	Cuerpo + tapa de descarga	80620
7	Molino completo	99770

Fuente: Empresa Contratista local

Tabla 6

Resumen de Costos Cambio de Liners del Molino SAG empresa contratista local

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	COSTO EN \$
1	Cambio de liner molino completo	99770
2	Alimentación y transporte de personal	1000
3	Trabajos previos	6000
Costo Total		106770

Fuente: Empresa Contratista local

Tabla 7

Resumen de Costos Cambio de Liners del Molino SAG empresa contratista internacional

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	COSTO EN \$
1	Cambio de liner molino completo	130490.40
2	Movilización y desmovilización de personal extranjero	43322.60
3	Hospedaje, alimentación y transporte de personal	
Costo Total		173813.00

Fuente: Empresa Contratista internacional

Tabla 8

Diferencia de costo por servicio empresa contratista local y empresa internacional

ITEM	EMPRESA ESPECIALIZADA	COSTO EN \$	% REDUCCIÓN DE COSTOS
1	Empresa Contratista Internacional	173813.00	100.00
2	Empresa contratista local	106770.00	61.43
	Diferencia en dólares	67043.00	38.57

Fuente: Empresa Contratista local

La diferencia en dólares al contratar a personal local, como alternativa ante la contratación de personal o Empresa internacional es de \$ 67.043 (Sesenta y siete mil cuarenta y tres dólares), esto por las altas remuneraciones que se cobran, y también pasajes de ida y vuelta, alojamiento etc.

3.4 Evaluación el Costo por servicio por año entre la empresa contratista internacional y la empresa contratista local por el trabajo del cambio de revestimiento del shell en el molino SAG

Tabla 9

Costo de Servicios por año Empresa contratista local.

ITEM	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	NÚMERO DE SERVICIOS POR AÑO	COSTO POR SERVICIO \$	COSTO POR AÑO \$
1	Tapa de carga	4	28586.00	114344.00
2	Tapa de descarga	4	51766.00	207064.00
3	Cuerpo, cilindro o shell	2	49982.00	99964.00
4	Trabajos previos	2	6000.00	12000.00
			COSTO POR AÑO	433372.00

Fuente: Empresa Contratista local

Tabla 10

Diferencia de costos por año.

ITEM	EMPRESA ESPECIALIZADA	COSTO POR AÑO \$
1	Empresa Contratista Internacional	822096.00
2	Empresa contratista local	433372.00
	Diferencia en dólares	388724.00

Fuente: Empresa Contratista local

La diferencia de costos por año al contratar a personal local, como alternativa ante la contratación de personal o Empresa internacional es de \$ 388,724 (Trescientos ochentaiocho mil setecientos veinticuatro dólares).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El servicio requerido es el cambio de revestimiento del shell en el Molino, que se da con el objetivo de restablecer la efectividad de la molienda ya que con el desgaste de los Liners esta se ve disminuida por pérdida de levante del material y como consecuencia una granulometría deficiente así como la perdida de las bolas de Molienda y además es necesario asegurar la protección de la carcasa del Molino.

Durante el cambio de liners, que es una de las principales razones que conlleva a la indisponibilidad del molino SAG, se considera que el único camino para lograr la máxima productividad, es reducir los costos durante el cambio de liners y para lograrlo se tiene que optimizar el proceso, ofreciendo un mejor servicio, empleando equipos y herramientas innovadoras, empleando personal altamente capacitado, sin recurrir a empresas internacionales, lo que genera mayores gastos por traslado, estadía en nuestra región y las altas remuneraciones que se cobran por este servicio.

En este sentido se plantea trabajar con personal local, con alta experiencia en paradas de planta, y específicamente capacitado en cambio de liners, operación de máquina enlainadora, y también en lo referente a seguridad con herramientas eléctricas, trabajos en espacios confinados, trabajos en caliente y en altura etc. Lo investigado concuerda con la investigación de maestría de (Chillce, 2012) quien concluye “El beneficio que se obtiene con esta mejora es netamente ahorro de costos, con el diseño y utilización de la plataforma deslizante para la extracción de pernos, se optimiza el tiempo de ejecución del enlainado, también se presenta un diseño para la construcción de un winche transportador de liners, como reemplazo de una grúa de 15 TM, que actualmente se viene utilizando. Se espera con este proyecto de tesis

contribuir con aplicaciones prácticas para reducir costos en el proceso de Cambio de Liners de Molinos SAG (Chillce, 2012).

4.2 Conclusiones

Se logró la optimización del proceso del Cambio de Revestimiento del Molino SAG, en la medida en que se ha reducido los costos a un 38.57% con el empleo únicamente de mano de obra local.

Se describió el procedimiento para cambio de revestimiento del molino SAG 32' x 32' de la empresa Minera de Cajamarca; con este procedimiento se realiza el trabajo en 72 horas con un recurso humano de 30 personas.

Se describió el plan de mejora para el cambio de liners del molino SAG 32' x 32' de la empresa Minera de Cajamarca que consiste en utilizar un sistema de elevación para el traslado de liners desde la parte inferior a la parte superior del molino y viceversa. Los costos de la empresa contratista internacional ascienden a \$ 173,813 y la empresa contratista local \$ 106,770 por el trabajo del cambio de liners del molino SAG. Se concluye que hay una alternativa ante la contratación de la Empresa Contratista Local, la cual hay influye con una diferencia de costos de \$ 67.043 (Sesenta y siete mil cuarenta y tres dólares) a favor de la empresa local.

Se concluye que la Empresa Contratista internacional cobra por año \$ 822,096 y la Empresa Contratista local \$ 433,372. La diferencia de costos por año al contratar a la Empresa local, como alternativa ante la contratación de personal o Empresa internacional es de \$ 388,724 (Trescientos ochentaiocho mil setecientos veinticuatro dólares).

REFERENCIAS

- Antamina (2010). *Antamina 10 años de operación*. De Remevol, Lima, 2010.
- Austin, L.G. (1987). *Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación*. Chile:
Cited.
- Arratia, M.A. (2006). *Modelo Matemático para la estimación de la vida útil de revestimientos en molinos semi-autógenos*. (Tesis de Magister).
Universidad Austral, Valdivia, Chile.
- Carneyro, K.J. (1989). Impacto en la mantención y operación por rediseño de revestimiento en el molino semiautógeno en el área los bronces, Compañía Minera Disputada de las Condes. Chile: Anales II Congreso de Ingeniería Mecánica en la industria del cobre, pp. 123-144.
- Chillce, V.M. (2012). *Implementación del sistema experto en molinos para optimizar la molienda del circuito de cobre en la planta concentradora de sociedad minera Cerro Verde S.A.A.* (Tesis de Magister).
Universidad Nacional del centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Gutiérrez, O.A. (2011). *Estudio para calibración de Molinos* (Tesis de Magister).
Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*: Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado y Pilar Baptista Lucio (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.

Performance Associates International. (2015). *Programa de capacitación para operadores* [En línea] Recuperado el 19 de noviembre del 2015,

de:

www.perfnnet.com

Rodríguez, B.I. (2010). Modelo de trazabilidad para el mejoramiento del mantenimiento de revestimientos en molinos SAG. Codelco Chile división el teniente. (Memoria). Universidad de Talca, Chile.

Tecnología Minera. (2009). *Molinos Autógenos y semiautógenos* [En línea] Recuperado El 10 de Junio del 2015, de:

<http://www.tecnologiaminera.com/tm/novedad.php?id=115&ad=Molinos%20aut%F3genos%20y%20semiaut%F3genos>.

Tejada, W.M. (2006). Análisis Dinámico de Molino SAG. (Memoria). Universidad de Chile, Chile.

Weir Slurry Group. (2007). *Sistema de revestimientos para molinos*. [En línea] Recuperado el 20 de septiembre del 2015, de

<http://www.weirminerals.com/pdf/MLS%20NA1107%20SP%20Spanish%20Mill%20Lining%20Systems.pdf>.

Kiran, C. (2009). *Optimización de molinos Molienda Gruesa de Falmouth*. En revista Equipo Minero, 1 pp. 30-33

ANEXOS

ANEXO 1. GALERÍA DE FOTOS



Foto 1. Molino SAG de 9.75 metros de diámetro por 9.75 metros de largo, de la Empresa Minera en estudio



Foto 2. Traslado de liners utilizando Grúa de 25 tn, Montacargas.



Foto 3. Empleo del martillo bota pernos Thunderbolt 1500.



Foto 4. Instalación de liners Shell, utilizando Máquina enlainadora de Capacidad 4500 kg.



Foto 5. Bachiller Víctor Manuel Salazar Rodriguez en área de molienda SAG



Foto 6. Bachiller Jorge Ortiz y Ortiz en área de molienda SAG



Foto 7. Revestimiento shell del molino SAG