

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



“OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL CAMBIO DE LOS FORROS EN
EL MOLINO FULLER DE LA EMPRESA SOUTHERN PERÚ – TOQUEPALA –
2015”

TESIS

PRESENTADO POR:

MARCO ANTONIO MAQUERA FRISANCHO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Puno – Perú

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL CAMBIO DE LOS FORROS EN
EL MOLINO FULLER DE LA EMPRESA SOUTHERN PERU – TOQUEPALA -
2015”**

TESIS PRESENTADO POR:

MARCO ANTONIO MAQUERA FRISANCHO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: **INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACION: 14-12-2017

APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

Mg. OLGER ALEJANDRINO ORTEGA ACHATA

PRIMER MIEMBRO:

Ing. LEONEL MARINO CASTILLO ENRIQUEZ

SEGUNDO MIEMBRO:

M.Sc. HENRY SHUTA LLUCLLA

DIRECTOR DE TESIS:

M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

Área: Mantenimiento

Tema: Mantenimiento

Puno – Perú

AGRADECIMIENTO

A Dios; a mi director de tesis el Ing. Illacuttipa Mamani, Juan Renzo; a las personas que colaboraron de una u otra forma para la realización de este trabajo Ing. Abraham Mamani Hanco (Gerente Área – SEPERSUR SRL), y especialmente a mi madre Maria Estela (+) por haberme dado la oportunidad de poder estudiar.

Agradezco la formación profesional entregada por la Escuela Profesional de ingeniería Mecánica Eléctrica, en especial a los docentes.

Agradecer también a quienes me han brindado un incondicional apoyo y cariño durante todos los desafíos que he enfrentado en esta vida.

DEDICATORIA

A Dios, Jesús su hijo.

A mis padres “Maria Estela Frisancho Villa (+) y C. Aurelio Maquera Encinas (+)”. Quienes han velado por mi educación y bienestar, a mi esposa Nilda Chancatuma por su apoyo incondicional y a mi hija Daniela que es el motor y motivo de mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	18
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.3.1. Justificación técnica.....	19
1.3.2. Justificación económica.....	19
1.3.3. Justificación social.....	19
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.4.1. Objetivo General	20
1.4.2. Objetivo Específico.....	20
CAPÍTULO II –	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.2. SUSTENTO TEÓRICO.....	24
2.1.1. MOLIENDA.....	24
2.2.2 TEORÍA DE LA MOLIENDA	26

2.2.3 TIPOS DE MOLINOS	26
2.2.4 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO DE BOLAS	27
2.2.5 Características	29
2.2.6 Fuerza motriz para el molino de bolas	39
2.2.7 Características del molino Fuller.....	42
2.2.7 Funcionamiento y operación	43
2.2.8 SISTEMA DE MOLIENDA DEL MOLINO DE BOLAS	47
2.2.9 GENERALIDADES SOBRE EL MANTENIMIENTO.....	50
2.2.9.1 Tipos de mantenimiento.....	52
2.2.9.2 Plan de Mantenimiento	56
2.2.10DESGASTE DE REVESTIMIENTOS	58
2.2.11 Costo de Mantenimiento.....	74
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	80
2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
2.4.1. Hipótesis general	81
2.4.2. Hipótesis específicas.....	81
2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	82
2.5.1. Operacionalización de variables de la hipótesis general.	82
2.5.2. Operacionalización de variables de las Hipótesis Específicas.	83
3. CAPÍTULO III.....	84
DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	84
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	84

3.1.1.	Tipo de estudio de investigación	84
3.1.2.	Diseño de la investigación	84
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	85
3.2.1.	Población de la investigación	85
3.2.2.	Muestra de la investigación.	85
3.3.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	85
3.3.1.	Ubicación de la población.....	85
3.3.2.	Descripción de la población.....	86
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.	86
3.5.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	86
4.	CAPÍTULO IV	87
	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .	87
4.1.	CONSIDERACIONES GENERALES PARA MANTENIMIENTO DE CAMBIO DE FORROS DE MOLINOS	87
4.1.1.	Determinación e implementación de la optimización del mantenimiento del cambio de forros de molino fuller.....	87
4.2	DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HUMANOS POR PROCESO EN EL TRABAJO	91
4.3	DESCRIPCIÓN DE TRABAJO.	91
4.4	PLANIFICACIÓN DE MONTAJE Y RETIRO DE FORROS.	101

4.5	DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA IZAJE Y RETIRO DE FORROS USADOS.	103
4.6	SELECCIÓN DE CADENA.....	105
4.7	COMPARACIÓN DE TIEMPOS EN EL RETIRO DE LOS FORROS DESGASTADOS DEL MOLINO FULLER.....	105
4.8	PLANIFICACIÓN DE TIEMPOS DE CAMBIO DE FORROS CON GANCHO DE ANCLAJE Y CADENA.....	107
	CONCLUSIONES	108
	SUGERENCIAS	109
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
	ANEXOS	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Molino de bolas	28
Figura N° 2. Partes principales de un molino	30
Figura N° 3. Dispositivos de descarga	34
Figura N° 4. Posición de equilibrio cinético	39
Figura N° 5. Factor c, según el grado de llenado y el tamaño de las bolas.....	42
Figura N° 6. Movimientos del riñón de carga.....	60
Figura N° 7. Distribución de revestimientos molino y esquema maniobras de recambio de revestimientos mediante máquina lainera.	63
Figura N° 8. Diseños de revestimientos molino. A la derecha, diseño de lifters cilindro. A la izquierda, diseño de revestimientos intermedios de tapas.	66
Figura N° 9. Movimientos de bolas en el interior del molino.....	67
Figura N° 10. Simulaciones DEM y CFD del riñón de carga dinámico	68
Figura N° 11. Impactos y arrastres de las bolas y mineral por el lifter cilindro.	70
Figura N° 12. Control del desgaste revstimineto mdiante ultrasonido	73
Figura N° 13. Ubicación mina toquepala	85
Figura N° 14 : Molino Fuller Concentradora Toquepala	88
Figura N° 15. Pernos molino Fuller	90
Figura N° 16. Desmontaje de trommel molino Fuller.....	93
Figura N° 17. Desmontaje de trommel molino Fuller.....	93

Figura N° 18. Corte de planchas desgastadas	95
Figura N° 19 (a) (b).Apilamineto de forros desgastados molino Fuller	95
Figura N° 20 Retiro de forros con manipulador de corazas.....	96
Figura N° 21. Desajuste de pernos y tuercas.....	98
Figura N° 22. Gancho de izaje de forros	102
Figura N° 23. Dibujo gancho de izaje.....	103
Figura N° 24. Dibujo gancho de izaje 3D	103

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Características del molino Fuller	43
Cuadro N° 2 Capacidad por tonledas de molinos	49
Cuadro N° 3 Resultado de funcionamiento de molinode bolas	82
Cuadro N° 4 Resultado de funcionamiento de molinode bolas	83
Cuadro N° 5 Planificación de tiempos	88
Cuadro N° 6 Fechas de ejecucion de trabajo	89
Cuadro N° 7 Tiempos de instalación de forros molino Fuller	89
Cuadro N° 8 Cantidad de liners molino Fuller	90
Cuadro N° 9 Medidas de pernos y tuercas	90
Cuadro N° 10 Disribucion de personal	91
Cuadro N° 11 Planificacion de trabajos para 72 horas	101
Cuadro N° 12 Comparacion de tiempos de trabajo.....	104
Cuadro N° 13 Planificación de tiempos para 65 horas	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Diagrama de flujo SPCC.....	112
Anexo N° 2 Catalogo de cadenas.....	113
Anexo N° 3 Costos de trabajos de cambio de forros molinos Fuller	121

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es optimizar el tiempo de cambio de forros del molino Fuller para la Planta de Molienda en la Empresa Southern Peru por medio de la empresa Contratista SEPERSUR SRL. Para ello se analiza las diversas características de los materiales; parámetros de tiempo y funcionamiento; luego se elabora una metodología de diseño y selección de componentes de un equipo.

El mantenimiento productivo total (MPT), tiene como metas, maximizar la efectividad del equipo, para optimizar la economía del equipo y su vida útil, involucrar a todos los departamentos que planifican, diseñan, utilizan o mantienen los equipos, mejorar la confiabilidad y mantenibilidad del equipo para contribuir a la calidad de los productos y aumentar la productividad, y promover las actividades autónomas de grupos pequeños.

Debido a los atrasos en entregas fuera del cronograma establecido contractualmente con los clientes, se ocasionan penalizaciones que afectan con fuerte impacto al presupuesto. Hasta ahora la falta de técnicas de calidad y de productividad han ocasionado pérdidas, por falta de atención en la forma de organizar e implementar la mejora continua durante el desarrollo, como la falta en el fortalecimiento de los sistema de calidad, como lo es el control de calidad en los procesos de desarrollo de ingeniería, instalación y operación de un molino de cemento o cualquier otra área.

Es por ese motivo que se ha planteado la siguiente investigación titulada “OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL CAMBIO DE LOS FORROS EN EL MOLINO FULLER DE LA EMPRESA SOUTHERN PERÚ – TOQUEPALA – 2015”

Palabras claves: Mantenimiento, Efectividad, Optimización

ABSTRACT

The objective of the present work is to optimize the time of change of linings of the Fuller mill for the Milling Plant in the Southern Peru Company through the company Contractor SEPERSUR SRL. For this the various characteristics of the materials are analyzed; time and operation parameters; then a methodology of design and selection of components of a team is elaborated.

Total Productive Maintenance (MPT) aims to maximize the effectiveness of the equipment, to optimize the equipment's economy and its useful life, to involve all departments that plan, design, use or maintain equipment, improve reliability and maintainability of the team to contribute to the quality of products and increase productivity, and to promote autonomous activities of small groups.

Due to delays in deliveries outside the contractual schedule established with clients, penalties are incurred that have a strong impact on the budget. So far, the lack of quality and productivity techniques have led to losses, due to lack of attention in the way of organizing and implementing continuous improvement during development, such as lack of quality system strengthening, such as control of quality in the processes of development of engineering, installation and operation of a cement mill or any other area. It is for this reason that the following research entitled "OPTIMIZATION OF MAINTENANCE IN THE CHANGING OF LINES IN THE MILL FULLER OF THE SOUTHERN PERU - TOQUEPALA COMPANY - 2015"

Keywords: Maintenance, Effectiveness, Optimization

INTRODUCCIÓN.

La molienda es uno de los principales procesos en todo circuito de procesamiento de minerales, es de importancia debido a que se identifica el mayor consumo energético y elevados costos en reposición de insumos (medios moledores); por otro lado es el proceso donde se da la granulometría adecuada para los diferentes procesos metalúrgicos posteriores.

Por tal motivo varios investigadores e ingenieros se encuentran en la búsqueda de formas para optimizar la molienda; para tal efecto existen dos posibles métodos, el primero es la realización de campañas de pruebas y estudio en campo donde implica el cambiar parámetros ya pre-establecidos esperando resultados positivos, este método presenta el riesgo de pérdidas de producción lo que implica pérdidas económicas para la empresa; el segundo método se basa en la simulación de molienda de los circuitos ya preestablecidos a través de software especializado, pero debido al alto precio de los mismos y el alto costo de capacitación del personal para que puedan utilizar estos softwares, hacen que se obtengan resultados a largo plazo y estos inconvenientes se presentan como desventajas en este segundo método llevando así a optimizar los tiempos de mantenimiento.

Enfoque y estructura de la tesis

El trabajo realizado consta de cuatro capítulos desarrollados de la siguiente manera:

CAPÍTULO I.- Se plantea el problema de la investigación así como descripción del problema; la justificación y los objetivos.

CAPÍTULO II.- Se describe el marco teórico, antecedentes de la investigación; sustento teórico. Finalmente la hipótesis de la investigación y la operacionalización de variables.

CAPÍTULO III.- Se plantea el diseño metodológico de la investigación, partiendo del tipo y diseño de la investigación, definiendo la población y la muestra investigada, describiendo la técnica para la recolección de información.

CAPÍTULO IV.- Se analizan e interpretan los resultados que se obtuvieron. También se muestra la metodología.

En la parte final se hace las respectivas conclusiones según los objetivos trazados; se hace las sugerencias para futuras investigaciones; bibliografía.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las pérdidas por tiempo de espera, por transporte, por defectos de ingeniería, y de tiempo, así como las malas decisiones de las personas, son algunos puntos que nos permitieron formulación la investigación.

En industrias intensivas en capital como la industria minera, un adecuado desarrollo y planeación de actividades de mantenimiento puede ser la diferencia entre permanecer activa o desaparecer del mercado, debido a que el cumplimiento de los objetivos de producción está sujeto a la disponibilidad de la planta de procesamiento de minerales; consciente de esta necesidad se desarrolló la optimización del Mantenimiento en los procesos de molienda de la Planta a través de la mejora en el cambio de forros para garantizar la efectividad en el funcionamiento y aumento en la capacidad de producción de la planta, proporcionando la disponibilidad de los equipos existentes y la conservación de los nuevos equipos, dando inicio a las actividades de mantenimiento preventivo.

Para tal fin, se realizó inicialmente el diagnóstico del sistema actual de mantenimiento en la empresa y específicamente en la planta de beneficio; posteriormente con el conocimiento de la actividad productiva y recopilación de información técnica de los equipos, se elaboró la codificación y criticidad

de los mismos, para de esta manera determinar las acciones más pertinentes de mantenimiento a llevar en cada uno.

Con la información técnica proveniente de catálogos, manuales, planos y las conversaciones realizadas con los operarios y mecánicos acerca de las experiencias con los equipos, se elaboró el sistema de información manual con los formatos pertinentes, buscando facilidad y agilidad en su diligenciamiento; se realizaron también los instructivos de mantenimiento con las labores más acordes para evitar estados inadecuados en los equipos; paralelo a esto se consultaron proveedores nacionales de Sistemas de Mantenimiento.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Se podrá lograr optimizar el mantenimiento en el Cambio de Forros del Molino Fuller con el diseño de una herramienta?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- a) ¿El lograr optimizar el mantenimiento en el cambio de forros del molino Fuller nos permitirá reducir las pérdidas en costos?
- b) ¿Se logrará establecer mejoras en el tiempo y desarrollar una nueva herramienta en el Cambio de forros del molino Fuller?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. Justificación técnica

El molino de bolas, es el equipo importante para la conminución de los materiales después del chancado. Este molino se utiliza ampliamente en la industria del cemento, los productos de silicato, materiales nuevos de construcción, materiales refractarios, fertilizantes, los metales negros y no ferrosos, así mismo el vidrio, la cerámica, y otras industrias de producción. Lo que sirve para realizar procesos de molienda seca y húmeda para varios minerales y otros tipos de materiales.

1.3.2. Justificación económica.

Dado que actualmente la minería es una de las alternativas de mayor campo laboral, y que existen los medios económicos suficientes necesarios para optimizar el tiempo de mantenimiento de forros de los molinos Fuller para garantizar una molienda eficiente.

1.3.3. Justificación social.

Aplicar los conocimientos teóricos llevándolos a la práctica con la finalidad de mejorar el proceso de mantenimiento del molino Fuller.

Evaluar el molino de bolas mediante pruebas que nos permitan determinar las variables y parámetros de operación de molienda de la especie mineralógica.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

El objetivo que pretende este trabajo es la Optimización del mantenimiento en el cambio de los forros en el Molino Fuller de la empresa Southern Perú – Toquepala – 2015, mediante el uso de herramientas y el aumento de personal técnico.

1.4.2. Objetivo Específico

- a) Diseñar una herramienta para la optimización del mantenimiento en el cambio de forros del Molino Fuller de la empresa Southern Perú – 2015 - Toquepala.
- b) Realizar y conocer un estudio económico haciendo una comparación de los costos que se generan al optimizar el mantenimiento del cambio de forros del molino Fuller.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.

2.1.1. ANTECEDENTES

- **TÍTULO:** ANÁLISIS DE UTILIZACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE ROTOR BOBINADO EN EL ACCIONAMIENTO DE UN MOLINO DE BOLAS
- **AUTOR:** RENATO NICOLÁS SANDOVAL MARMOLEJO
- **AÑO:** 2011
- **CONCLUSIONES:**

El trabajo analiza los principales configuraciones para el accionamiento de un molino de bolas, actualmente el uso del método Quadramatic es uno de los más confiables y utilizados en la industria dejando un tanto rezagado el uso de motores asincrónicos. El análisis determinó que la utilización de

motores de inducción de rotor bobinado es un método factible para el accionamiento pero es necesario agregarle la característica de velocidad variable para mejorar su eficiencia y ser una real alternativa a los métodos convencionales.

A través de los años el continuo desarrollo de diversos métodos para el control de motores de inducción, como el accionamiento Scherbius escogido por esta memoria para el accionamiento del motor, sumado a la creación de nuevas tecnologías de semiconductores han aportado indudablemente a mejorar la eficiencia del motor.

El estudio del control de motores definitivamente no ha llegado a su límite y es imperativo que se siga avanzando en este tema, no solo porque se puede mejorar la eficiencia de los actuales motores, si no que quizás podría llevar al descubrimiento de nuevos métodos para la conversión electromecánica de la energía.

El software MATLAB es quizás un programa complejo en su utilización y extremadamente sensible pero finalmente es capaz de correr un modelo el motor de inducción y su control, pudiendo extrapolarse a cualquier otro motor. El análisis de la dinámica del motor se vuelve tan profundo, que entrega las herramientas para una posible implementación experimental del sistema modelado, capaz de generar las señales y el sistema de

control necesario para el control del motor, claro está que es necesario comprar el motor y los semiconductores respectivos.

El sistema de control de flujo orientado es un método probado a nivel experimental con excelentes resultados, asegurando la confiabilidad del control del motor en todo el rango de velocidad definido por esta memoria. El control de la velocidad del motor no solo aporta al uso eficiente de la energía si no que además permite menos desgaste de las partes mecánicas del accionamiento, menos mantención y se evita la pérdida de eficiencia del sistema mecánico con el pasar de los años.

2.1.2. ANTECEDENTES

- **TÍTULO:** DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE UN MOLINO DE BOLAS PARA EL LABORATORIO METALÚRGICO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA
- **AUTOR:** NILTON CAMILO, PORTOCARRERO CARNERO
- **AÑO:** 2010
- **CONCLUSIONES:**
 1. Los estudiantes obtendrán resultados satisfactorios de molienda, debido al buen diseño y selección de materiales.
 2. Permitirá evaluar y obtener un producto óptimo para posteriores investigaciones metalúrgicas.

3. Mediante las pruebas de molienda se pudo determinar los parámetros de operación para reducir de tamaño un mineral con tamaño máximo de partícula a un tamaño 55% pasante la malla 200.

4. Una alimentación compuesta de partículas gruesas, requiere medios de molienda más grandes, lo cual produce una gran dispersión en el tamaño de las partículas del producto reduciendo de esta forma la eficiencia de la molienda.

2.2. SUSTENTO TEÓRICO.

2.1.1. MOLIENDA

La molienda es la última etapa del proceso de conminución; en dicha etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto y abrasión, ya sea en seco o como una suspensión en agua pulpa. (BUEGG, R. 2012 p. 145)

La molienda se realiza en molinos que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen una carga de cuerpos sueltos de molienda, conocidos como "medios de molienda", los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira, produciendo la conminución de las partículas alimentadas.

En el proceso de molienda, partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 - 300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice (área de desarrollo de alta y nueva tecnología nacional). El propósito de la operación de molienda es ejercer un control

estrecho en el tamaño del producto y, por esta razón, frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil. (BUEGG, R. 2012 p. 145)

Por supuesto, una submolienda del material resultará en un producto que es demasiado grueso, con un grado de liberación demasiado bajo para separación económica, obteniéndose una recuperación y una razón de enriquecimiento bajo en la etapa de concentración. La sobremolienda innecesaria reduce el tamaño de partícula del constituyente mayoritario y puede reducir el tamaño de partícula del componente minoritario (generalmente el mineral valioso), bajo el tamaño requerido para la separación más eficiente.

Además, se pierde mucha energía, que es cara, en el proceso. Es importante destacar que la molienda es la operación más intensiva en energía del procesamiento del mineral; únicamente una pequeña parte del requerimiento de energía de un molino es convertida en trabajo de molturación.

La mayor parte del requerimiento de energía se pierde, por ejemplo: Pérdidas mecánicas en cojinetes y accionamientos (alrededor de 5 a 10%) Calentamiento del material, de las herramientas de molturación, de la maquinaria y del aire de despolvamiento (alrededor de 80 a 95 %).

2.2.2 TEORÍA DE LA MOLIENDA

En la liberación de un trozo de mineral, se inicia con el proceso de chancado y termina con la molienda. La molienda es el segundo ciclo del proceso de un mineral en toda planta concentradora. El proceso de molienda es muy importante porque de él depende el tonelaje y la liberación del mineral valioso que finalmente termina con la flotación por espumas.

2.2.3 TIPOS DE MOLINOS

Existen varios tipos de molinos.

Los molinos de bolas tienen una capa cónica o cilíndrica que gira sobre un eje horizontal, y se rellena parcialmente con un medio de molienda, por ejemplo, bolas de acero. El molino de bolas difiere del de tubos, el cual es de longitud más corta y, por regla general, dicha longitud no es muy distinta a su diámetro.

Los molinos de bolas convencionales utilizan bolas grandes con un material grueso, para producir un producto comparativamente grueso. El molino de barras es largo en comparación con su diámetro, utiliza bolas de mayor tamaño y da un producto más fino. El molino de compartimientos, que es una combinación de los dos tipos anteriores, consiste en un cilindro dividido en una o más secciones por medio de divisiones perforadas; la molienda preliminar se realiza en uno de los extremos y la de acabado, en el extremo de descarga.

Los molinos de cabillas generan un producto granular más uniforme que otros molinos giratorios, reduciendo al mínimo con ellos, el porcentaje de

finos que en ocasiones constituyen una desventaja. El molino de piedras es un molino de tubo con piedras de pedernal o cerámica como medio de trituración, que pueden estar recubiertos con capas cerámicas u otros materiales no metálicos.

El molino de piedra y roca es de tipo autógeno, en el que el medio consiste en grumos de mayor tamaño que tienen un cribado preliminar en una etapa precedente, durante la formación de la capa de flujo de molienda. El molino de bolas y el de piedras son fáciles de operar y sus aplicaciones son versátiles; se tiene una capa de acero cilíndrica, ya sea de solo este material o recubierta con piedras, que contiene una carga de bolas de acero o piedras que giran horizontalmente en torno a su eje, y la reducción del tamaño o la pulverización se realiza por medio del volteo de las bolas o de las piedras, por el material que queda entre ellas. Los molinos operan en fase mojada o seca ya sea por lotes, en circuito abierto o en circuito cerrado con clasificadores de tamaño.

2.2.4 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO DE BOLAS

El molino está formado por un cilindro horizontal. El tamiz de descarga es un tamiz de mallas grandes que tiene por objeto retener las bolas, pero no tamizar las partículas que no han sido molidas al tamaño deseado. Si el molino gira a mayor velocidad, será mayor el consumo de potencia, pero la figura, para una capacidad dada, para una finura dada, aumentan. También, cuánto más pequeñas sean las bolas, mayor será la finura del

producto. Finalmente, cuanto más rápida sea la alimentación del molino más rápida será la descarga que llega al otro extremo y el producto será más grueso. Pueden trabajar tanto en húmedo como en seco. Ver figura N° 1

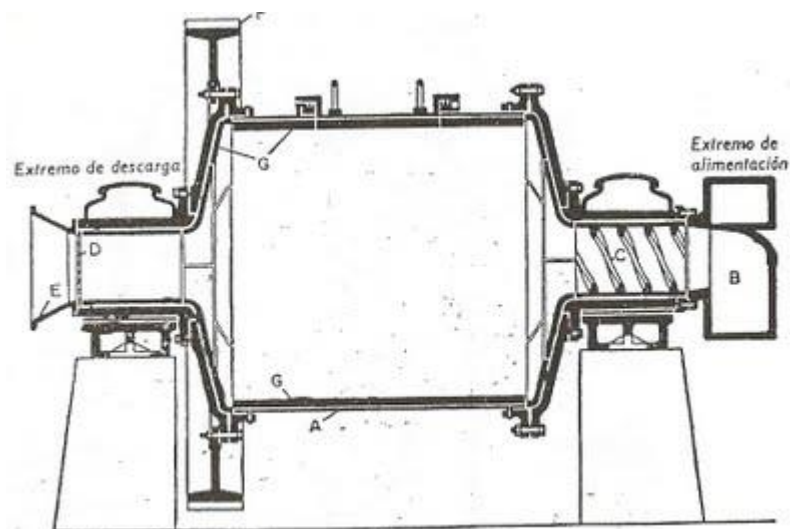


Figura N° 1 Molino de bolas: A, envuelta; B, caracol de alimentación; C, espiral de alimentación; D, tamiz de descarga; E, embudo de descarga; F, engranaje de movimientos; G, placas de revestimiento.

Fuente: Manual de mantenimiento y operación del molino (Giuliani, 2002)

El revestimiento de la envuelta de los molinos de bolas puede ser simplemente de revestimiento de tubular liso o de revestimiento de escalones, Estos molinos pueden trabajar tanto en húmedo como en seco.

El molino de bolas Marcy muy empleado para la molienda húmeda y seca de minerales, admite la alimentación gruesa hasta 25mm y la muele con un circuito cerrado con un clasificador hasta que pasa por el tamiz Nro. 200. Para obtener un cambio rápido en el contenido del molino con una carga circulante elevada se emplean rejillas de descarga.

2.2.5 Características

Esta máquina cuenta de una parte de alimentación, parte de descarga, parte de transmisión, (desacelerador, pequeño engranaje de transmisión, generador, control eléctrico) entre otros. El espacio del eje adopta acero fundido y el forro puede ser reemplazado, el engranaje grande rotatorio es procesado desde el engranaje fundido giratorio. El cuerpo del barril es bien usado y soporta tableros de escala. Esta máquina funciona continuamente y trabaja confiablemente.

El molino es el elemento esencial de una planta de producción de mineral. Consiste en un cilindro metálico cargado con una determinada cantidad de bolas metálicas cuya caída al rotar el cilindro muele, mezcla y homogeniza la cal y el material que formarán el concentrado de mineral.

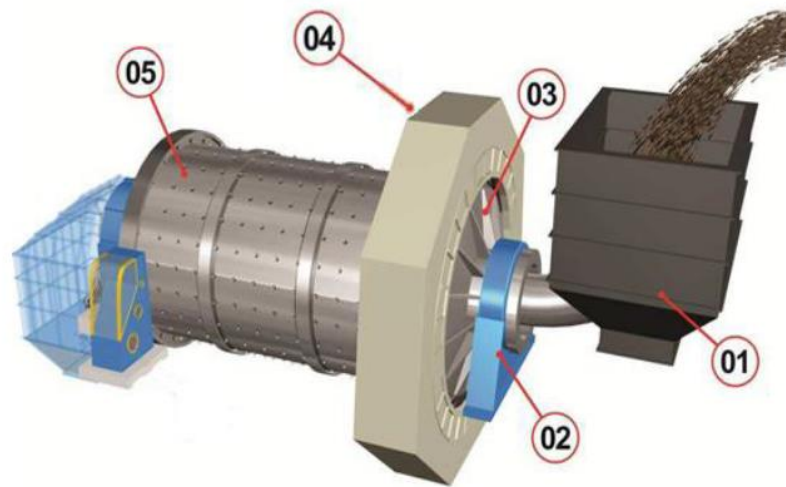


Figura N° 2.- Partes Principales de un Molino: 1) Chute de alimentación, 2) Chumacera, 3) Cabezal de alimentación, 4) Corona, 5) Cuerpo de molino.

Fuente: Manual de operación planta concentradora 2012 (minera Tintaya)

Las piezas fundamentales de un molino son: Casco, Chaquetas o revestimiento, Rejillas, Cuerpos trituradores, Dispositivos de carga y descarga y el accionamiento o mando del molino.

a) **Trunnión de alimentación**

(o muñón de entrada), es el conducto para la entrada de carga impulsada por la cuchara de alimentación.

b) **Chumaceras**

Se comporta como soporte del molino y a la vez la base sobre la que gira el molino.

c) Piñón y catalina

Son los engranajes que sirven como mecanismo de transmisión de movimiento. El motor del molino acciona un contra-eje al que está adosado el piñón, este es encargado de accionar la catalina la que proporciona movimiento al molino, dicha catalina es de acero fundido con dientes fresados.

d) Cuerpo o casco del molino o shell

El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, es la parte más grande de un molino y está construido de placas de acero forjadas y soldadas.

Tiene perforaciones para sacar los pernos que sostienen el revestimiento o forros. Para conectar las cabezas de los muñones tiene grandes flanges de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco. En el casco se abren aperturas con tapas llamadas manholes para poder realizar la carga y descarga de las bolas, inspección de las chaquetas y para el reemplazo de las chaquetas y de las rejillas de los molinos. El casco de los molinos está instalado sobre dos chumaceras o dos cojinetes macizos esféricos

e) Tapas

Soportan los cascos y están unidos al trunnión

f) Forros o Chaquetas

Sirven de protección del casco del molino, resiste al impacto de las bolas así como de la misma carga, los pernos que los sostiene son de acero de alta resistencia a la tracción forjados para formarle una cabeza cuadrada o hexagonal, rectangular u oval y encajan convenientemente en las cavidades de las placas de forro.

g) Trunnión de descarga

Es el conducto de descarga del mineral en pulpa, por esta parte se alimenta las bolas, sobre la marcha.

h) Cucharón de alimentación

También llamado scoop feeders que normalmente forma parte del muñón de entrada del molino

i) Trommel

Desempeña un trabajo de retención de bolas especialmente de aquellos que por excesivo trabajo han sufrido demasiado desgaste. De igual modo sucede con el mineral o rocas muy duras que no pueden ser molidos completamente, por tener una granulometría considerable quedan retenidas en el trommel. De esta forma se impiden que tanto bolas como partículas minerales muy gruesas ingresan al clasificador o bombas.

j) Cuerpos trituradores.

Los cuerpos trituradores van a ser utilizados en los molinos cuya acción de rotación transmite a la carga de cuerpos moledores fuerzas de tal naturaleza que estos se desgastan por abrasión, impacto y en ciertas aplicaciones metalurgistas por corrosión.

k) Dispositivos de descarga.

El sistema de descarga del mineral en los molinos es por el muñón de descarga o trunnion de salida que es hueco y generalmente con nervaduras de espiral en el interior del trunnion de salida.

En el sistema de descarga con rejilla, el mineral atraviesa la parrilla del molino y entra en el espacio comprendido entre esta pared cabecera del casco. Luego de aquí el mineral es retirado por unos canales sobre el tamiz selector. Las partículas finamente molidas atraviesan el tamiz y entran en la tolva de finos, los cuerpos extraños caen desde el tamiz y abandonan el molino

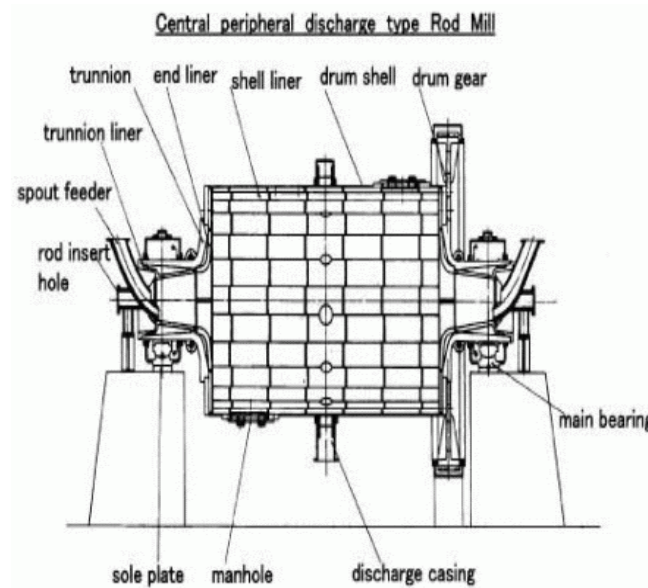


Figura N° 3. Dispositivos de descarga.

Fuente: Manual de mantenimiento y operación del molino (Giuliani, 2002)

l) Variables operacionales de un molino de bolas

Para que la molienda sea racional y económica hay que considerar 3 factores fundamentales que influyen en los resultados y son:

1. La carga del mineral
2. Alimentación de agua
3. Medios de molienda

m) La carga de mineral de alimentación al molino:

Cuanto más rápido sea la alimentación al molino más rápido será la descarga que llega al otro extremo y el producto final será más grueso, permanecerá menos tiempo sometido a molienda.

La alimentación de carga del mineral debe ser constante y uniforme, la cantidad se regula en faja de alimentación.

Limpias de planchas de Fe, madera, trapos o piezas de acero que pueden cortar la faja de alimentación o bloquear las alimentadores, o producir atoros en la descarga, etc

Normalmente los molinos trabajan con 70% a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral, la cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.45 toneladas por m³ de capacidad.

n) Alimentación de agua

Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finalmente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por lo tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas, por ende en la operaciones se agrega un 50% a 60% de agua en peso, para asegurar una descarga rápida del mineral. El exceso de agua dentro del molino lavará las bolas y cuando se hace funcionar el molino pues el mineral no está pegado en las bolas, haciendo una pulpa demasiado fluida que saca la carga de mineral demasiado rápida, no dando tiempo a moler y disminuyendo el tiempo de molienda, dando como resultado una molienda excesivamente gruesa. Consumo exagerado de bolas y desgaste de chaquetas, todas

estas condiciones unidas representan un aumento del costo de producción y una baja eficiencia de la molienda.

En el circuito las cargas circulares elevadas tienden a aumentar la producción y disminuir la cantidad de mineral fino no deseado.

o) Carga de bolas

La cantidad de bolas que se coloca dentro de un molino depende en gran parte de la cantidad de energía disponible para mover el molino.

Generalmente nunca llega al 50% de volumen, aunque una carga de bolas igual a 50% del volumen del molino da la capacidad máxima, el volumen total de las bolas no debe ser menor que el 20% del volumen interior (las cargas normales varían de 40 a 50%)

Donde quiera que se desee una producción mínima de finos debe usar una carga de bolas cuyo diámetro está relacionado al tamaño del mineral que se alimenta, el aumento de la carga de bolas, hace elevar el gasto de energía hasta alcanzar un valor máximo, por encima del cual la energía necesaria disminuye al aumentar la carga, por acercarse al centro de gravedad de esta al eje de rotación.

La carga se puede aumentar elevando el peso de bolas cargado al molino aumentando la densidad de sólidos de la pulpa a moler, o trabajando a nivel de líquidos más alto.

Este nivel de pulpa, que es función de la cantidad de molienda, constituye un factor muy importante en el funcionamiento del molino de bolas.

Normalmente la carga de bolas se debe determinar mediante ensayos metalúrgicos por estudios detenidos. La potencia necesaria es máxima cuando el contenido en sólidos de alimentación es del orden del 75%.

El consumo de bolas está dado en función al tonelaje tratado, a la dureza del mineral, al tamaño de la carga de mineral

Cuanto más pequeñas sean las bolas mayor será la finura del producto final, la calidad de las bolas se fabrican de acero moldeado, fundido, laminado o forjado, normalmente se emplea acero al manganeso a al cromo.

En resumen la elección de las dimensiones de un molino es función de muchos factores entre los cuales: la dureza del mineral, el tamaño promedio de la alimentación, como también el grado de finura a obtenerse, humedad de la pulpa, la cual forma de las superficies de los de los forros ya sean onduladas o lisas y se emplean para molienda gruesas y finas respectivamente, la velocidad el molino afecta a la capacidad y también al desgaste , en proporción directa hasta el 85% de la velocidad crítica.

p) Las variables de molienda se controlan por:

1. Sonido de las bolas
2. Densidad de la molienda
3. Amperímetro del motor del molino

El sonido de las bolas nos indica la cantidad de carga dentro del molino. El sonido deberá ser claro. Si las bolas producen un ruido muy sordo u opaco, es porque el molino está sobrecargando por exceso de carga o falta de agua.

Si el ruido de las bolas es excesivo, es porque el molino esta descargado o vacío, por falta de carga o mucho agua.

El grado de densidad en la salida del molino debe ser tal que la pulpa sea espesa y avance por su muñón de descarga con facilidad, sin atorarse, la pulpa no debe ser de densidad muy baja.

El amperímetro es un aparato eléctrico que esta intercalado en el circuito del motor eléctrico del molino

Su función es de determinar y medir el consumo de amperios de la intensidad de la corriente que absorbe el motor eléctrico. Generalmente el amperímetro del motor eléctrico del molino debe marcar entre ciertos límites normales en cada planta concentradora.

2.2.6 Fuerza motriz para el molino de bolas

La fuerza motriz total necesaria para un molino de bolas es igual a la suma de la potencia neta necesaria para mantener el centro de gravedad de la carga en una posición de equilibrio cinético e incluye las pérdidas de potencia por fricción y por transmisión.

Fuente: DESCASPER, J. Manual de molinos, dimensionamiento de molinos tubulares. p. 190

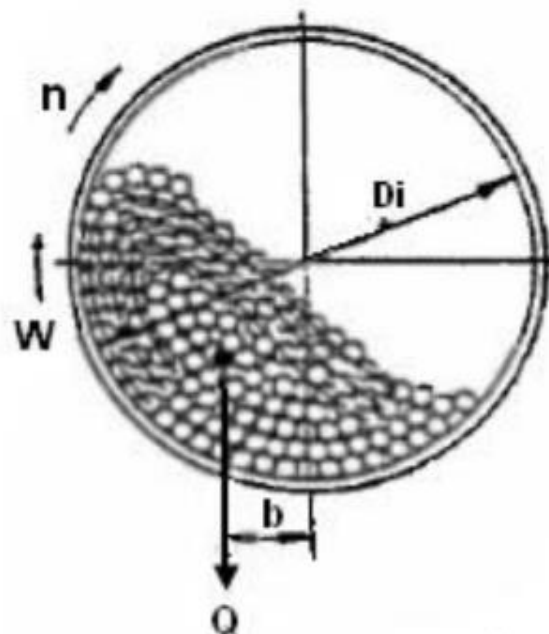


Figura N^o 4. Posición de equilibrio cinético

Fuente: Manual de mantenimiento y operación del molino (Giuliani, 2002)

Donde:

W = Velocidad angular. (s^{-1})

n = Velocidad de molino. (min^{-1})

D_i = Diámetro interno de las placas de blindaje. (m)

b = Distancia del centro de gravedad de la carga en un plano vertical a través del eje de rotación. (m)

Q = Peso de la carga de bolas. (N)

Según Mittag (1966) la distancia b puede ser expresada como una función del diámetro del molino, D_i , tomando en consideración los supuestos siguientes:

La distancia b tiene siempre la misma relación con el diámetro para molinos, con el mismo grado de llenado, pero con diferentes diámetros.

La distancia b no depende de la velocidad del molino cuando esta última oscila dentro de límites comunes.

En consecuencia, puede derivarse la fórmula siguiente:

$$b = x * D_f \quad .(Ec. 1)$$

Donde x está principalmente en función del grado de llenado y del tamaño de las bolas.

El torque puede expresarse así:

$$M = \frac{x \cdot D_i \cdot Q}{10} \text{ (Nm)} \quad \dots(\text{Ec. 2})$$

La fuerza motriz N como función de la velocidad angular ω y del torque M:

$$N = M \cdot \omega \text{ (Kw)} \quad \dots(\text{Ec. 3})$$

Siendo la velocidad angular:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ (S}^{-1}\text{)} \quad \dots(\text{Ec.4})$$

La fuerza motriz N puede ser expresada finalmente como:

$$N = \frac{x \cdot D_i \cdot q \cdot \pi \cdot n}{30} \text{ (Kw)} \quad \dots(\text{Ec. 5})$$

Para cálculos prácticos, la fórmula puede simplificarse como sigue:

$$N = c \cdot Q \cdot D_i \cdot n \text{ (Kw)} \quad \dots(\text{Ec. 6})$$

Donde:

N = Fuerza motriz. (Kw)

Q = Carga de bolas. (ton)

Di = Diámetro interno de las placas de blindaje (m)

n = Velocidad del molino (min⁻¹)

c = Factor de consumo de energía. ($c = \frac{x \cdot \pi}{30}$)

La ecuación 1 permite el cálculo de la fuerza motriz total para un molino de bolas, incluyendo las pérdidas totales por fricción en los cojinetes

El factor de consumo de energía c depende del grado de llenado y del tamaño de las bolas. El valor de x , y en consecuencia el valor de c no puede ser calculado teóricamente. Sin embargo, por mediciones de la fuerza motriz total de molinos en servicio y considerando los valores conocidos de Q , D_i y n , puede calcularse el factor de consumo de energía c , mediante la siguiente gráfica:

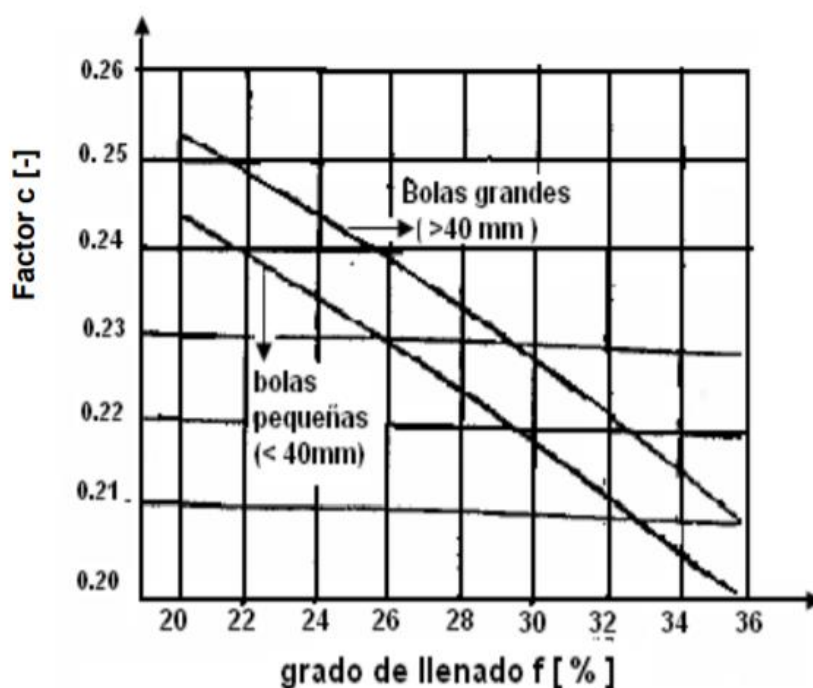


Figura 5. Factor c , según el grado de llenado y el tamaño de las bolas.

Fuente: DESCASPER, J. Manual de molinos, dimensionamiento de molinos tubulares. p. 210

2.2.7 Características del molino Fuller.

Cuadro N° 1. Características molino Fuller

MOLINO FULLER	
Diámetro del molino	21 pies (6400.8 mm)

Longitud	33 pies (1010.8 mm)
TMSH	500
PIÑÓN	
Número de Dientes	20
Longitud de Dientes	110 mm
Diámetro de piñón	790 mm Aprox.
Longitud del piñón	177"
El acoplamiento del motor piñón es embridado	
CATALINA	
Número de dientes	276 (Dividida en 4 partes, cada sección 69 dientes)
MOTOR	
Potencia	9500 HP – 180 RPM

Fuente: Empresa Minera Southern Toquepala

2.2.7 Funcionamiento y operación

El cilindro se llena parcialmente con bolas de acero inoxidable, de acero o piedras duras. El material a pulverizar debe colocarse de forma tal que cubra todas las bolas, ya que si el material es demasiado, se da un efecto de acolchonamiento, evitando el contacto total entre las bolas; si la cantidad de material es menor, se incrementa el espacio muerto entre la bolas, causando una disminución en la eficiencia.

La duración de la molienda puede variar desde horas hasta días, dependiendo de la dureza del material. Sin embargo, el equipo tiene la opción de recolectar el material a ciertos intervalos de tiempo. Para conseguir una molienda eficaz, no se debe de exceder la velocidad crítica, que se define como la velocidad a la cual una bola pequeña esférica dentro del equipo empieza a centrifugar.

La molienda ocurre principalmente por los mecanismos de impacto. Cuando el cilindro empieza a rotar, las bolas son empujadas por la fuerza centrífuga hacia la pared superior del cilindro. Las bolas que están más arriba viajan más rápido que las que están abajo; la velocidad óptima ocurre cuando las bolas forman un movimiento de cascada. Durante el movimiento, se produce un mecanismo de fricción entre las bolas, y estas al caer, impactan y fragmentan el material.

La velocidad crítica es aquella en que las bolas no forman el movimiento de cascada sino que rotan a la misma velocidad que el cilindro. Entre más grande sea el molino, menor será la velocidad crítica y viceversa. La molienda es más eficiente si las bolas ocupan entre el 30 - 50% del volumen del molino.

La acción de bolas se ha estudiado y analizado desde el punto de vista matemático. Estos desarrollos matemáticos rigurosos se basan en hipótesis especulativas sobre la forma de la maza de bolas. Los factores principales que determinan el tamaño de las bolas de molienda son el tamaño de partícula del material (finura) que se está pulverizando, y el costo de mantenimiento para la carga de las bolas.

La necesidad de una distribución de alimentación, calculada según el tamaño de la bola, es una cuestión que no se ha aclarado aún por completo; sin embargo, se ha propuesto métodos para calcular una carga de bolas racionada.

Es un molino de acción periódica que está formado de un casco o Shell soldado eléctricamente, con anillos de acero fundido, calzados en caliente o soldados en ambos extremos y torneados a precisión. Las tapas de entrada y salida están fijadas a los muñones de entrada y salida sostenidos por cojinetes o chumaceras. Para proteger el molino de un rápido desgaste, la carga interna del casco se reviste interiormente de placas o chaquetas de acero al manganeso o de otro material como Ni-Hard, cromo-molibdeno o de caucho, de acuerdo a la clase de mineral que se muele. Este molino funciona girando sobre sus muñones de apoyo a una velocidad determinada para cada tamaño de molino.

En calidad de agente de molienda se usan bolas de acero de diferentes diámetros, de distinta dureza y composición siderúrgica. Cuando el molino gira, las bolas junto con el mineral son elevadas por las ondulaciones de una chaqueta y suben hasta una altura determinada, de donde caen girando sobre sí y golpeándose entre ellas y contra las chaquetas o revestimientos interiores.

Luego vuelve a subir y caer y así sucesivamente. En cada vuelta del molino hay una serie de golpes producidos por las bolas, estos golpes son los que van moliendo el mineral. Normalmente los molinos de bolas trabajan con 70 a 78 % de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral.

La cantidad de bolas que se coloca dentro del molino depende en gran parte de la cantidad disponible de energía para mover el molino, está en un rango del 40%. La duración de la molienda está en función de las dimensiones del molino, del tamaño de las partículas de mineral entrante y de la finura de molido exigida en la concentradora.

La sobremolienda del material se trata de evitar en general para minimizar la producción de partículas excesivamente finas que frecuentemente interfieren con los procesos de recuperación del metal.

La potencia necesaria para el accionamiento del molino es proporcional a su carga y es de aproximadamente de 1.5Kw-Hr/Tm de mineral y de la carga de las bolas de acero. En la operación por vía húmeda se agrega un 50% a 60% de agua en peso para asegurar una descarga rápida del mineral, normalmente los molinos trabajan con 70% a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral. La cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.4 a 0.45 toneladas por metro cúbico de capacidad.

El molino de bolas se diferencia del molino de tubo por tener poca longitud, por regla general no excede al diámetro. Los molinos de bolas normales emplean bolas grandes con un mineral alimentado grueso para rendir un producto relativamente grosero. En algunos molinos se colocan aros ajustados por la unión de la tolva de alimentación por lo cual ingresa el mineral al molino. Sobre el casco cilíndrico se monta una rueda dentada de acero fundido con dientes fresados, para el accionamiento del molino.

2.2.8 SISTEMA DE MOLIENDA DEL MOLINO DE BOLAS

La selección entre la molienda en seco y en vía húmeda la suele indicar el uso final del producto.

El consumo de los medios de molienda y el desgaste del recubrimiento por tonelada de producto es más bajo para un sistema de molienda en seco. A pesar de esto, el consumo de energía para un sistema de molienda en seco es aproximadamente 30% mayor que para la molienda en vía húmeda y requiere el empleo de un colector de polvos. En el sistema de molienda en seco, el mineral ya molido hasta la finura indicada, circula hasta que termine de molerse las pocas partículas de mineral grandes no fraccionadas, lo cual aumenta el consumo de fuerza motriz por unidad de producción y disminuye el rendimiento del molino. Al operar el molino por vía húmeda, el mineral finamente molido es extraído con agua de los intersticios entre las bolas y por lo tanto no perjudica la molienda de las partículas de mineral gruesas.

Las ventajas de molienda húmeda son:

1. Menor consumo de energía por tonelada de producto.
2. Mayor capacidad por unidad de volumen.
3. Posibilita el uso de harneado en húmedo o clasificación mecánica (centrifuga) para controlar bien el tamaño del producto.
4. Elimina el problema de polvo (criterio ambiental)
5. Hace posible el uso de métodos simples de manejo y transporte de pulpas tales como bombas, cañerías y canaletas. Los hidrociclones son el equipo de clasificación usado en circuitos modernos de molienda húmeda.

Cuadro N° 2. Capacidad por toneladas de molinos

Tamaño		Carga De Bolas. Tm	C.V. En marcha	Velocidad Del molino r.p.m	Capacidad. Tm/24 hr. (basada en mineral de dureza media)									
					Tamiz Nro. 8*	Tamiz Nro. 20	Tamiz Nro. 35	Tamiz Nro. 48	Tamiz Nro. 65	Tamiz Nro. 80	Tamiz Nro. 100	Tamiz Nro. 150	Tamiz Nro. 200	
Pies x pies.	m x m				Pasa el 20% por el Nro. 200	Pasa el 33% por el Nro. 200	Pasa el 50% por el Nro. 200	Pasa el 60% por el Nro. 200	Pasa el 70% por el Nro. 200	Pasa el 80% por el Nro. 200	Pasa el 85% por el Nro. 200	Pasa el 93% por el Nro. 200	Pasa el 97% por el Nro. 200	
3 x 2	0.9 x 0.6	0.77	5- 7	35	17	14	11	9	7	6	5	4	3	
4 x 3	1.2 x 0.9	2.48	20- 24	30	73	58	48	41	33	25	20	16	13	
5 x 4	1.5 x 1.2	4.76	45- 51	27	163	131	109	93	74	57	46	37	29	
6 x 4 1/2	1.8 x 1.4	8.07	86- 96	24	340	272	227	190	154	122	95	77	60	
7 x 5	2.1 x 1.5	11.88	137-152	22 ½	580	463	385	327	263	204	163	131	102	
8 x 6	2.4 x 1.8	18.3	223-248	12	998	803	667	567	453	354	281	227	177	
9 x 7	2.7 x 2.1	27.2	350-385	20	1633	1315	1088	925	739	576	458	372	286	
10 x 10	3.0 x 3.0	51.24	710-760	18	3338	2685	2222	1905	1542	1202	952	771	594	
12 x 12	3.7 x 3.7	82.12	1278- 136	16.4	6462	5193	4308	3691	2984	2331	1846	1497	1156	

Fuente: DESCARPER, J Manual de molinos, dimensionamiento de molinos tubulares

2.2.9 GENERALIDADES SOBRE EL MANTENIMIENTO

En la actualidad, la mayor parte de los bienes y servicios se obtienen y se hacen llegar a sus destinatarios mediante unos “sistemas de producción - distribución” o, más brevemente “sistemas productivos”, a menudo de gran dimensión tanto por el número de personas que trabajan en ellos como por el tamaño y el valor de las instalaciones y equipos que utilizan. A lo largo de su ciclo de vida cada sistema pasa por diferentes fases. La última de ellas es la de construcción y puesta en marcha, hasta que se alcanza el régimen normal de funcionamiento. Durante esta última fase, llamada de operación, que es la única auténticamente productiva, el sistema se ve sometido a fallos que entorpecen o incluso, interrumpen temporal o definitivamente su funcionamiento. El objeto del mantenimiento es precisamente reducir la incidencia negativa de dichos fallos, ya sea disminuyendo su número o atenuando sus consecuencias. Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión. En general, todo lo que existe, especialmente si es móvil se deteriora, rompe o falla con el correr del tiempo: puede ser a corto plazo o a muy largo plazo. El solo paso del tiempo provoca en algunos bienes disminuciones evidentes de sus características, cualidades o prestaciones.

El mantenimiento se puede definir como el control constante de las instalaciones (en el caso de una planta) o de los componentes (en el caso de un producto), así como el conjunto de trabajos de reparación y revisión

necesarios para garantizar el funcionamiento regular y el buen estado de conservación de un sistema en general. Por lo tanto, las tareas de mantenimiento se aplican sobre las instalaciones fijas y móviles, sobre equipos y maquinarias, sobre edificios industriales, comerciales o de servicios específicos, sobre las mejoras introducidas al terreno y sobre cualquier otro tipo de bien productivo.

El objetivo final del mantenimiento se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir, y en su caso, reparar, los fallos sobre los bienes
- Disminuir la gravedad de los fallos que no se lleguen a evitar
- Evitar detenciones inútiles o paros de máquinas.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir costos.
- Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

En resumen, un mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallos.

2.2.9.1 Tipos de mantenimiento

Actualmente existen variados sistemas para acometer el servicio de mantenimiento de las instalaciones en operación. Algunos de ellos no solamente centran su atención en la tarea de corregir los fallos, sino que también tratan de actuar antes de la aparición de los mismos haciéndolo tanto sobre los bienes, tal como fueron concebidos, como sobre los que se encuentran en etapa de diseño, introduciendo en estos últimos, las modalidades de simplicidad en el diseño, diseño robusto, análisis de su mantenibilidad, diseño sin mantenimiento, etc.

Los tipos de mantenimiento que se van a estudiar son los siguientes:

a) **Mantenimiento Correctivo**

Es el conjunto de actividades de reparación y sustitución de elementos deteriorados por repuestos que se realiza cuando aparece el fallo. Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir los fallos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. Tiene como inconvenientes, que el fallo puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al bien a una mayor exigencia.

Asimismo, fallos no detectados a tiempo ocurridos en partes cuyo cambio hubiera resultado de escaso costo, pueden causar daños importantes en otros elementos o piezas conexas que se encontraban en buen estado de uso y conservación. Otro inconveniente de este sistema, es que se debe disponer de un capital importante invertido en piezas de repuesto.

b) Mantenimiento Preventivo

Es el conjunto de actividades programadas de antemano, tales como inspecciones regulares, pruebas, reparaciones, etc., encaminadas a reducir la frecuencia y el impacto de los fallos de un sistema. Las desventajas que presenta este sistema son: · Cambios innecesarios: al alcanzarse la vida útil de un elemento se procede a su cambio, encontrándose muchas veces que el elemento que se cambia permitiría ser utilizado durante un tiempo más prolongado. En otros casos ya con el equipo desmontado, se observa la necesidad de "aprovechar" para realizar el reemplazo de piezas menores en buen estado, cuyo coste es escaso frente al correspondiente de desmontaje y montaje, con el fin de prolongar la vida del conjunto. Estamos ante el caso de una anticipación del reemplazo o cambio prematuro.

Problemas iniciales de operación: cuando se desmonta, se montan piezas nuevas, se monta y se efectúan las primeras pruebas de funcionamiento, pueden aparecer diferencias en la estabilidad, seguridad o regularidad de la marcha.

- Costo en inventarios: el costo en inventarios sigue siendo alto aunque previsible, lo cual permite una mejor gestión.

Mano de obra: se necesitará contar con mano de obra intensiva y especial para períodos cortos, a efectos de liberar el equipo para el servicio lo más rápidamente posible.

- Mantenimiento no efectuado: si por alguna razón, no se realiza un servicio de mantenimiento previsto, se alteran los períodos de intervención y se produce una degeneración del servicio.

Por lo tanto, la planificación para la aplicación de este sistema consiste en:

Definir qué partes o elementos serán objeto de este mantenimiento.

Establecer la vida útil de los mismos.

Determinar los trabajos a realizar en cada caso.

Agrupar los trabajos según época en que deberán efectuarse las intervenciones.

c) Mantenimiento Predictivo

Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien

a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado.

Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc. En otras palabras, con este método, tratamos de seguir la evolución de los futuros fallos. Este sistema tiene la ventaja de que el seguimiento nos permite contar con un registro de la historia de la característica en análisis, sumamente útil ante fallos repetitivos; puede programarse la reparación en algunos casos, junto con la parada programada del equipo y existen menos intervenciones de la mano de obra en mantenimiento.

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta. A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas.

2.2.9.2 Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento de una planta deberá elaborarse a partir de la selección de la mejor combinación de las políticas enumeradas para cada elemento, coordinándolas para conseguir el uso óptimo de los recursos y el tiempo. Idealmente, las acciones preventivas y correctivas para cada unidad de la planta deberían estar especificadas con cierto detalle por los fabricantes. Esto raramente se da en los equipo de difícil sustitución en los que el mantenimiento es caro y probabilista.

La gran cantidad de factores que influyen en la selección de la política de mantenimiento, hacen que sea necesario un procedimiento sistemático para determinar el mejor programa de mantenimiento para cada periodo de tiempo. Las etapas de este procedimiento se explican a continuación:

1. Clasificación e identificación de los equipos

Esta etapa es importante, pero habitualmente tediosa y difícil debido al volumen del trabajo y a la complejidad y tamaño de los equipos. Una buena clasificación de los equipos es la que se basa en su reemplazabilidad y función.

El sistema de identificación más simple es el que se basa en la codificación numérica.

2. Recogida de información

El recojo de información que pueda ser relevante para la planificación del mantenimiento es esencial para todos los equipos de la planta. Debido a que el mantenimiento es inseparable de la producción es inevitable que la información más relevante sea: Modelo de producción (funcionamiento continuo, fluctuante o intermitente) y la naturaleza del proceso. Una vez obtenida la información será posible elaborar un programa para cada equipo y para cada periodo considerando el tiempo estimado disponible para mantenimiento que no conlleve pérdida de producción.

3. Programa de Mantenimiento

Preventivo Cuando los análisis individuales estén terminados, entonces se examinarán las acciones relacionadas y las periodicidades en conjunto, con el objeto de encontrar oportunidades de coordinación (mediante la programación conjunta en periodos fijos, de todas las acciones a realizar sobre un grupo de equipos o en una unidad). Esto llevará a un compromiso entre los programas individuales óptimos, el uso más económico de la mano de obra y la máxima disponibilidad de la planta. Estos periodos predeterminados deberán tener una tolerancia en tiempo para admitir contingencias tales como la incertidumbre en la planificación de producción. De este análisis resultan los programas de inspección, de lubricación, de otros servicios y de las revisiones generales.

4. Programa de mantenimiento correctivo

Correctivo Cuando la planta es nueva, incluso después de haber realizado los análisis mencionados con anterioridad, resulta difícil predecir el nivel y la naturaleza de la carga de mantenimiento correctivo. Durante la vida inicial de la planta la predicción es muy imprecisa y dependerá fundamentalmente de la información proporcionada por los fabricantes y de la experiencia de los ingenieros de planta. Obviamente, esta predicción mejorará con la vida de la planta y, en consecuencia, la carga de mantenimiento correctivo podrá ser planificada con mayor precisión. La decisión crítica a este respecto es fijar el nivel de repuestos en existencias. Cuanto más se tengan, menor será el coste de indisponibilidad en caso de fallo y además será más fácil organizar el mantenimiento correctivo; pero por otro lado los costos de inmovilizado serán cada vez mayores. El problema del gestor de mantenimiento es minimizar la suma de estos costos, para lo que es esencial identificar las unidades o los equipos críticos en la planta y asegurarse de que se adopta el mejor plan de mantenimiento correctivo.

2.2.10 DESGASTE DE REVESTIMIENTOS

La tecnología que en la actualidad lidera el diseño de plantas concentradoras en el mundo son los circuitos y molinos semiautógenos (Orford ,2005. Expomin, 2004).

Los molinos semiautógenos (SAG) son equipos fundamentales en el proceso, tratamiento y conminución de minerales en la industria de la gran minería. Las nuevas plantas concentradoras son diseñadas basándose en las ventajas en costos de inversión y operación de una planta de molienda SAG; que por sus dimensiones de gran tamaño, tienen una capacidad de carga y tratamiento de minerales mayores que los circuitos convencionales compuestos de varios molinos de bolas y de barras, esta mayor productividad se debe a su gran capacidad y eficiencia.

La molienda SAG es la última etapa del procesamiento de conminución del mineral, siendo la más intensiva en energía, el mineral de alimentación se recibe directamente desde el chancador primario (no del terciario como en la molienda convencional) con un tamaño cercano a 20 cm. (8 pulgadas, aproximadamente) mezclándose con agua y lechada de cal. La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica que giran alrededor de su eje horizontal, su potencia mecánica es suministrada por transmisiones de engranes, o por un anillo estator de inducción, potencia que es transferida por los revestimientos directamente a la carga (Delboni, 2002. Merino, 1988); carga que contienen cuerpos sueltos de molienda y rocas de mineral los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la conminución de las partículas de mineral (Ugarte, 1973).

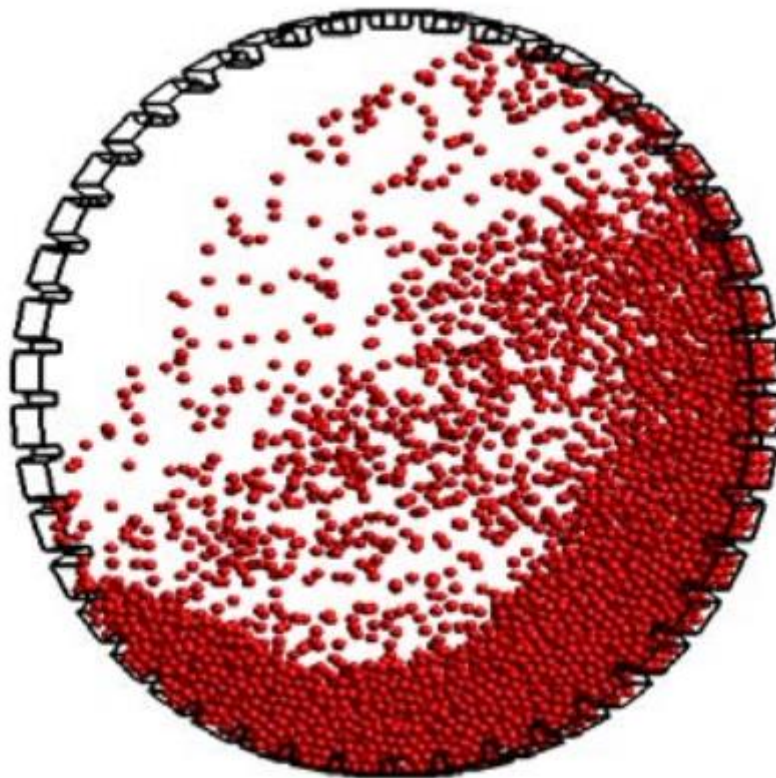


Figura N ° 6 Movimientos del riñón de carga.
Fuente: (Orford ,2005. Expomin, 2004).

Magne (2002) señala que la teoría cinética clásica del proceso de molienda resulta insuficiente para explicar y definir todos los fenómenos que determinan el estado dinámico de la carga en los circuitos y principalmente en el interior de los molinos, basados en modelos de la circulación dinámica de carga que no consideraban factores secundarios como la velocidad, diseños de revestimientos y densidad de la descarga; lo que converge a un incorrecto aprovechamiento de las relaciones energéticas. La base conceptual del manejo y control que utilizan los molinos, consiste básicamente en variar los flujos de alimentación de mineral y agua y/o variar la velocidad del giro del molino para mantener

la presión de las células de carga en los descansos de lubricación hidrostática, y la potencia consumida en un rango específico (Valderrama, 1998). Sin embargo otras propiedades internas de la carga tales como la densidad aparente, la distribución de tamaños, viscosidad de la pulpa, posición del riñón de carga y las trayectorias de movimiento, etc. no son consideradas, a pesar de influir en forma importante en la dinámica del molino, con este esquema se logra mantener la operación dentro de rangos preestablecidos, pero en forma inestable, con vacíos en la descripción y comprensión del proceso, aceptados por la costumbre, sin lograr optimización del proceso, y al costo de limitar el tonelaje posible de procesar y de aumentar los consumos de energía y acero en bolas y revestimientos (Magne, 2002. Valderrama, 1998).

La molienda ha evolucionado en estas dos últimas décadas, hacia circuitos de molienda modificados en dos etapas que consideran molinos para la molienda primaria, seguidos de molinos de bolas como etapa secundaria o molienda fina, la causa fundamental para la modificación de los circuitos es debido a que las partículas de tamaño intermedio (mayor 13 mm.) en el interior del molino, tienen un nivel deficiente de fracturamiento; modificación realizada para evitar su ingreso en la alimentación del molino, estos tamaños críticos (intermedios) se procesan previamente en un chancador (cónico) de pebles (guijarros de 13 mm.) con el objetivo de eliminar los tamaños críticos (Valderrama, 1998). Esto exige generar tamaños lo más finos posible a los chancadores primarios, sin embargo para eliminar los remanentes de tamaños críticos se diseña y gesta

la llamada preclasificación o prechancado; y para eliminar las colpas de mayor tamaño se aplica prechancado directo. En la práctica una granulometría más fina de alimentación genera mayores beneficios de tratamiento de minerales provenientes de minas subterráneas o rajos abiertos. Aun así, las plantas de circuitos de molienda SAG modificados presentan una gran variabilidad operacional, producto tanto de fluctuaciones en las propiedades naturales del mineral de alimentación, como también de limitaciones propias del sistema de instrumentación y control (Magne, 2003).

La mayor productividad y menores costos de inversión en comparación con plantas basadas en los tradicionales molinos de bolas, han producido que el flujo productivo de las plantas se concentre en un número reducido de molinos; esto hace que la eficiencia y disponibilidad del molino sea un factor crítico en la planta concentradora, más aun cuando se imponen metas productivas en el proceso de molienda (Magne, 1998).

El tiempo de indisponibilidad por mantención programada más significativo del molino corresponde al cambio de los revestimientos, el cual debe planificarse en conjunto con los periodos de mantención general del concentrador, con el objeto de disminuir la indisponibilidad del molino por causa de este trabajo (SVEDALA GRINDING Metso Minerals, 1999).

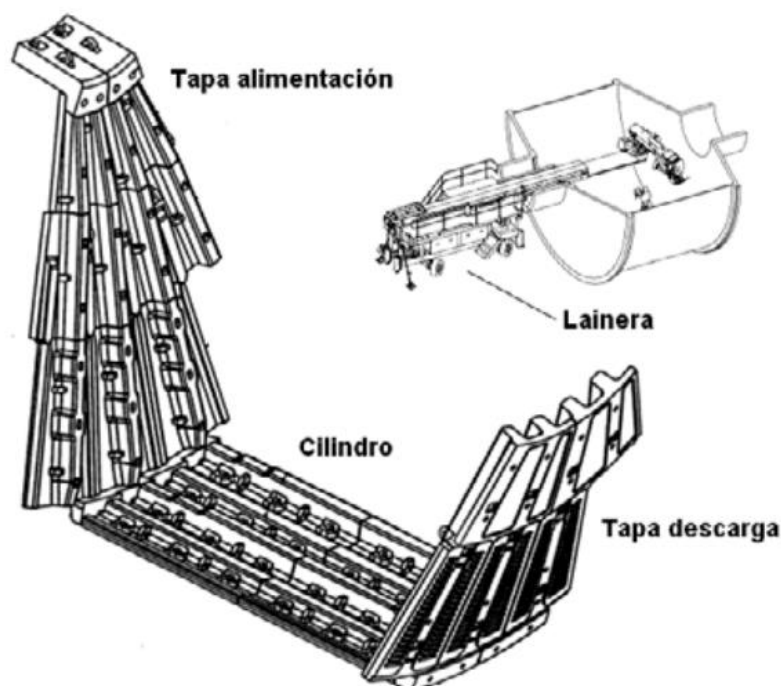


Figura N ° 7 Distribución de revestimientos molino y esquema maniobras de recambio de revestimientos mediante máquina lainera.

Fuente: (Orford ,2005. Expomin, 2004).

El rendimiento de las operaciones de molienda depende de gran medida del rendimiento de los revestimientos, la identificación del tipo adecuado de revestimiento y el diseño de su perfil son fundamentales para optimizar tal rendimiento, considerando su mantenimiento. Los revestimientos de molinos se pueden clasificar de acuerdo al material con que están diseñados y fabricados: Revestimientos de acero (corazas), goma o caucho, y de Polímero-metal denominados Polymet (Rickenberg, 1999).

Los revestimientos de acero, a los que este estudio se abocará, son fabricados principalmente de aleaciones blancas (Ej. Cromo-molibdeno,

Cromomanganeso), sometidas a tratamientos térmicos con el fin de otorgar mayor dureza y resistencia superficial al impacto y desgaste.

La causa principal de detención de molinos, es la mantención por reemplazo o inspección de revestimientos de acero gastados. Según Carneyro (1989) los problemas que contribuyen al aumento del tiempo de indisponibilidad del molino por mantención de revestimientos se pueden clasificar en dos categorías:

- Los que reducen la vida útil de los revestimientos, demandando paradas más frecuentes (fenómenos físicos del proceso de molienda dentro de molino).
- Los procedimientos y acciones que aumentan el tiempo de reemplazo de piezas gastadas (Desmontar chutes de alimentación, movilizar y posicionar máquinas de enlainado de molinos para manipular de los revestimientos, movilizar martillos sin retroimpacto para remover los pernos de los revestimientos gastados, remoción de los revestimientos gastados mediante cadenas, arrastre o grúas, etc.).

El reemplazo de aceros (medios de molienda y revestimientos) desgastados es un importante costo de operación, puesto que el consumo de acero debido al desgaste representa cerca de la cuarta parte de los costos totales anuales de operación de una planta de procesamiento de minerales (Austin, 1987).

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

Sin embargo, el costo de los revestimientos es normalmente proporcional a la cantidad de material utilizado en su fabricación, cuyo valor tiene un precio más o menos estable, variando estos valores de costos por detención y reemplazo según el precio del mineral de cobre (bolsa metales de Londres). Es por ello que los revestimientos de molinos juegan un papel primordial en efectividad y disponibilidad de los molinos.

Los costos por revestimientos se pueden enfocar desde dos aspectos:

- Costos de revestimientos (valor de venta) y debido a su consumo de acero (desgaste).
- Tiempo de detención del molino para el reemplazo de revestimientos gastados.

Los revestimientos, van sujetos mediante pernos de barrilada a la estructura del molino, poseen un rol multifuncional: protegen la estructura del molino contra el desgaste; sirven de medio de transferencia de energía al interior del molino e intervienen tanto en el movimiento de la carga como en la distribución de los impactos (Rajamani, 1996. Magne, 1998). Los revestimientos son los principales encargados de transferir la energía

desde los motores (hidráulicos o anillo estator) a la carga en el interior del molino, su velocidad de desgaste dependerá del modo como esta transferencia se realice, de la tasa de producción y la disponibilidad del equipo (Carneyro, 1989).

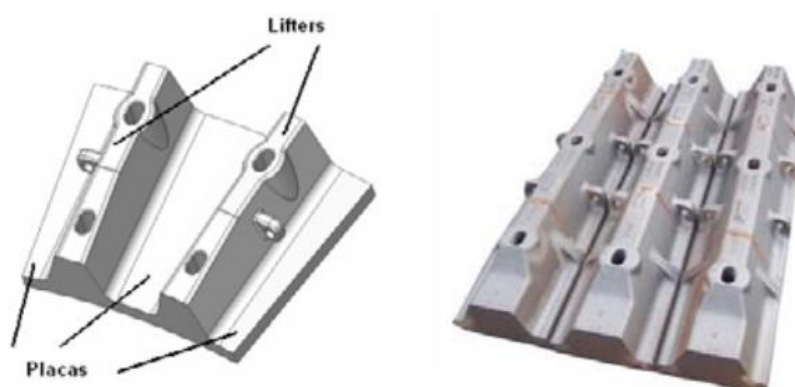


FIGURA N ° 8 Diseños de revestimientos molino. A la derecha, diseño de lifters cilindro. A la izquierda, diseño de revestimientos intermedios de tapas.

Fuente: (Orford ,2005. Expomin, 2004).

Los estudios y resultados publicados por diversas instituciones y autores (Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003) de los fenómenos observados en las simulaciones tridimensionales mediante elementos discretos (DEM), y técnicas computacionales de dinámica de fluidos (CFD), de la dinámica de la carga (riñón de carga), muestran concordancia y convergen en que las interacciones energéticas entre el mineral, bolas y revestimientos, generan más fracturamiento y conminución de mineral por los efectos de cascada, que por efecto de catarata. La molienda se genera principalmente por efectos de abrasión y atrición

entre partículas que giran alrededor de su propio eje, más que por impactos dentro del riñón de carga, demostrando así que el diseño de los revestimientos tanto en su forma de placas y alturas de lifters, son un factor clave en la dinámica de la carga y la distribución espacial energética de los eventos de impacto, abrasión y atrisión en la cinética de molienda (Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003).

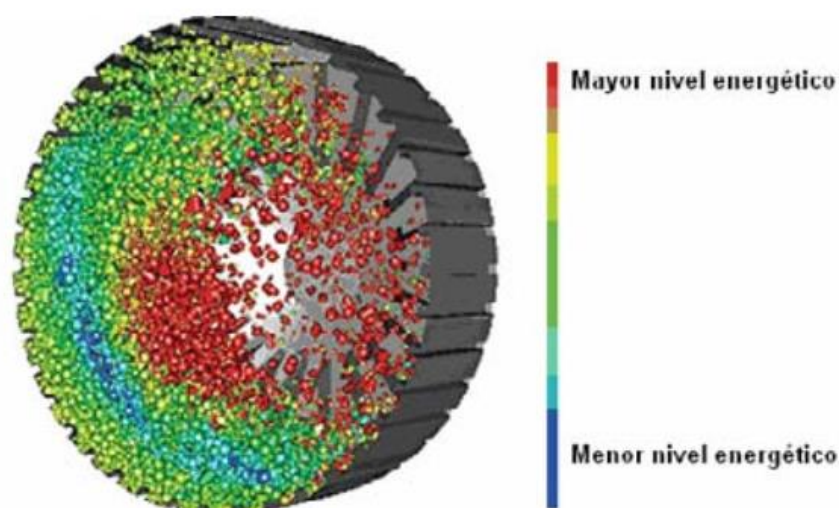


FIGURA N ° 9 Movimientos de bolas en el interior del molino.

Fuente: Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003

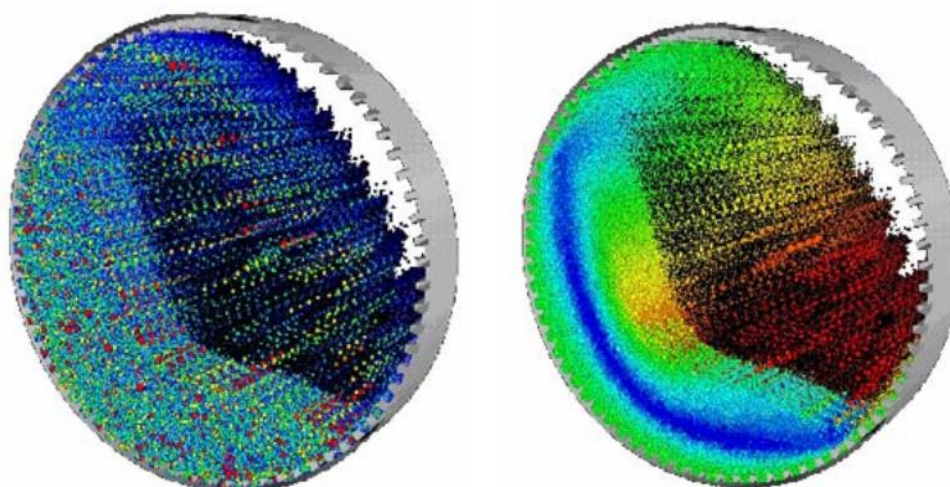


Figura N ° 10. Simulaciones DEM y CFD del riñón de carga dinámico.

Fuente: Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003

Estos nuevos conceptos sobre el comportamiento interno de la dinámica de carga, y trayectoria de bolas en función del diseño de los revestimientos, entregan aspectos operacionales que deben considerarse sobre la carga del molino, como una proporción equilibrada de bolas y mineral, y que el movimiento de la carga sea tal que los impactos ocurran exclusivamente entre componentes de la carga.

Según Rajamani & Mishra (2001) las trayectorias inusuales de bolas que caen en forma de catarata no producen fracturamiento ni molienda de mineral, solo impactos directos sobre el lifter y placas del cilindro produciendo el desgaste acelerado de estos revestimientos. Señalando que un deficiente diseño de lifter en el cilindro, genera empaquetamientos de bolas y mineral entre lifters, lo que disminuye la función de impactar, arrastrar y levantar o alzar la carga del riñón en su correspondiente giro del molino. Consecuentemente, la incidencia económica de mejoras en el diseño de revestimientos es del orden de millones de dólares al año (Magne, 1998).

El desgaste de los revestimientos se produce por su función de impactar, arrastrar y levantar (alzar) la carga del riñón, en cada giro del molino; este desgaste se atribuye principalmente al menos cuatro eventos diferentes entre si, durante el giro de molino:

1. Impacto directo de las bolas que caen en catarata sobre los revestimientos por encima del pie de carga dinámico.

2. Choque y arrastre del revestimiento al encontrarse con el pie de carga, en el momento que comienza su acción de levante.
3. Resbamiento del mineral y bolas sobre la cara frontal de ataque del revestimiento durante su etapa de ascenso.
4. Deslizamiento de bolas y mineral sobre la cara frontal de ataque del revestimiento previo a la caída.

(Magne, 1998) menciona que de estos eventos, el último es el de menos relevancia, por la menor magnitud de las fuerzas involucradas.

El tercero citado es muy efectivo cuando los lifters tienen muy poca altura (menor que el diámetro de la bola), o cuando el ángulo de ataque es muy bajo. Señalando que en la mayoría de los casos el desgaste se debe principalmente a los dos primeros mecanismos citados.

Rajamani & Mishra (2001) demostraron que los impactos directos de bolas sobre el lifter y placas del cilindro, producen un consumo acelerado del acero, debido al desgaste que esto genera sobre el revestimiento del orden de 453-680 gramos de acero en bolas y revestimientos por tonelada de mineral procesada, y en términos de vida útil estos lifter pueden durar entre 6-12 meses, dependiendo de las propiedades del mineral procesado. Señalando que el 30% de la energía de molienda se desperdicia por eventos de colisiones entre de bolas y revestimientos, y que un deficiente diseño de lifter en el cilindro, genera empaquetamientos de bolas y mineral entre lifters.

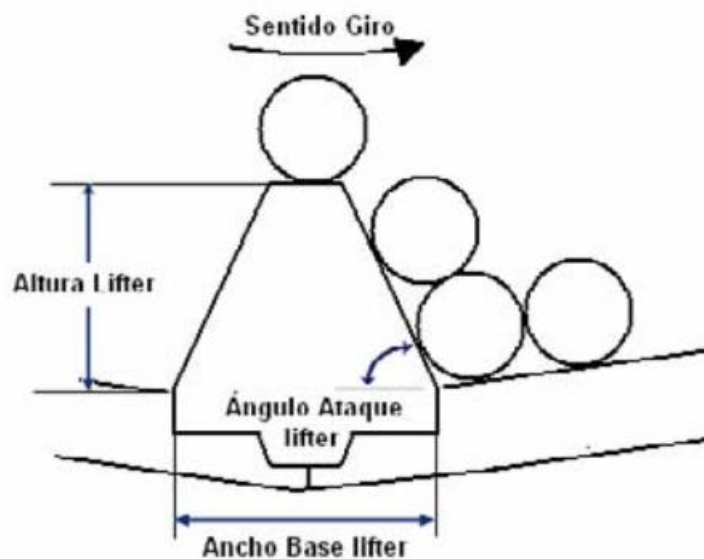


Figura N ° 11 Impactos y arrastres de las bolas y mineral por el lifter cilindro

Fuente: Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003.

Djordjevic (2003) señala que el desgaste por uso del lifter producirá una disminución gradual de su altura; este desgaste es el resultado de la aplicación de los esfuerzos cortantes y normales en los lifters causados por el contacto de las partículas de mineral y bolas que viajan alrededor del riñón de carga, esfuerzo que se intensifica con la alta velocidad de rotación del molino, y la caída de rocas y bolas que impactan directamente a los lifters y al conjunto de revestimientos del molino. Estableciendo que la intensidad de los esfuerzos (normal y cortante) es directamente proporcional a la intensidad de la acción de alzar (levantar carga) del lifter y del desgaste en el revestimiento.

A través de simulaciones DEM y CFD, Clearcy (2001) demostró que las distribuciones de daños por desgaste ocurren debido a impactos

directos de bolas y revestimientos (lifters y placas), por daños de abrasión debido al contacto metal-metal y metal-mineral; otras causas de deterioro son los esfuerzos normales y cortantes a los que el lifter esta sometido en el momento del encuentro con el riñón de carga en los eventos de impacto y arrastre de mineral.

Magne (2003) menciona que por definición el molino alcanzaba su máxima eficacia trabajando al máximo de su potencia instalada, lo cual se logra aumentando la velocidad de giro y/o el nivel de llenado de mineral, moliendo principalmente por impactos producidos por efecto catarata; esto originó equipos de gran tamaño y altas velocidades, con gran desperdicio de energía y daño a revestimientos y a la carga de bolas. El aumento indiscriminado de la velocidad de giro es peligroso principalmente para el revestimiento y para las cargas de bolas, estas maniobras tienen como límites la resistencia estructural de las carcasa o cuerpo del molino y la capacidad de lubricación hidrostática y carga en sus descansos (Pontt, 2004).

La tendencia es que cada planta evalúa la capacidad de bolas que puede admitir su molino, y la forma de controlar una adecuada masa de mineral, sin perder energía golpeando elementos de molienda entre sí (Sepúlveda, 1998); puesto que para minerales duros como el mineral de cobre, es mucho más eficaz el medio de molienda metálico (bolas) para producir un mayor fracturamiento de mineral (Rickenberg, 1999).

El método a definir debe considerar la medición del espesor de cada tipo de coraza comparándolo con el espesor original y obtener un modelo de curva de desgaste para poder definir un criterio para el cambio de revestimiento, es decir debe hacerse un seguimiento del desgaste medido en función del tonelaje o de la energía consumida o simplemente de las horas de operación del molino, con lo cual se podrá predecir la vida útil de todas las piezas de revestimiento del molino. No obstante, las curvas obtenidas para un juego de revestimiento hasta el fin de su vida útil, solo pueden ser usadas como referencia en la predicción de la vida útil de un nuevo juego”.

Es decir, para estimar las fechas de reemplazo de los revestimientos se realizan inspecciones generalmente a intervalos irregulares en el tiempo del nivel de desgaste de los revestimientos midiendo su espesor, esto significa detener los equipos, disminuyendo la producción. Rivera (2005) señala que las inspecciones deben realizarse durante las mantenciones mensuales y generales programadas, pero en la práctica estas inspecciones se realizan necesariamente cuando un componente propio o anexo del molino o circuito ha fallado o necesita reemplazo (Ej. Revestimiento, sistema de frenos, anillo estator, etc.).

Las divisiones de Codelco (2004-2005) estudian el perfil y evolución del desgaste de sus revestimientos, mediante la medición directa del espesor por medio de equipos de ultrasonido, analizando los datos obtenidos, es posible verificar la integridad estructural de los

revestimientos, detectar situaciones irregulares y planificar en forma prevista las fechas de detención por cambios de revestimientos. Sin embargo, cada planta evalúa los datos y el desgaste de manera distinta, lo cual genera predicciones y estimaciones poco confiables en términos de su análisis e interpretación.



Figura N ° 12 Control de desgaste revestimientos mediante ultrasonido.
Fuente: Rajamani, 2001. Clearcy, 2001. Magne 2003

Magne (1998) modela y describe el desgaste de revestimientos mediante relaciones lineales en el tiempo (o el tonelaje), relaciones formuladas en función del diámetro del molino, espesor inicial de placas y lifters, y sus tasas de desgaste en el tiempo.

Sin embargo, estas aseveraciones no se han comprobado exhaustivamente antes de su aceptación definitiva y aun no se han validado científicamente. Su aplicación práctica como metodología y procedimiento de proyección de las fechas de reemplazo en revestimientos, solo puede ser usada en términos referenciales, por las plantas SAG para estimar las vidas útiles de los revestimientos, puesto que es demasiado impreciso en términos de sus resultados numéricos,

e inadecuado en respecto de los numerosos factores adicionales que intervienen en la dinámica de molienda y el fenómeno propio del desgaste.

Estas curvas de desgaste generalmente se han analizado y proyectado por medio de regresiones lineales sencillas, idealizadas del fenómeno, que no representan cabalmente el comportamiento del revestimiento frente a el desgaste al que está sometido durante su vida útil en operación. Actualmente muchos concentradores y plantas de molienda nacionales, utilizan estos modelos, que en la práctica entregan predicciones imprecisas e inapropiadas de vida útil y de las fechas de reemplazo de sus revestimientos en operación.

2.2.11 Costo de Mantenimiento

Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. El sector de mantenimiento en la planta o en la empresa puede ser considerado por algunos gerentes como un gasto, para otros como una inversión en la protección del equipo físico, y para algunos como un seguro de producción. La actitud del gerente pasará a sus empleados (sean mecánicos u operarios) afectando directamente en los resultados.

Costos en el Mantenimiento

Para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, y teniendo presente que para un administrador una de sus principales tareas será minimizar los costos, entonces es importante conocer su componentes.

Los costos, en general, se pueden agrupar en dos categorías:

1) Los costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento, como ser: costos administrativos, de mano de obra, de materiales, de repuestos, de subcontratación, de almacenamiento y costos de capital.

2) Costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción y pérdidas por fallas en la calidad producto al mal funcionamiento de los equipos. Costo global del mantenimiento

a) **Costos Fijos:** La característica de este tipo de costos es que estos son independientes del volumen de producción o de ventas de la empresa, estos como su nombre lo dice son fijos, dentro de este tipo de costos podemos destacar la mano de obra directa, los alquileres, seguros, servicios, etc.

Los costos fijos en el mantenimiento están compuestos principalmente por la mano de obra y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo, hard time, así como todo gasto originado por el engrase de las máquinas o mantenimiento.

Desde el punto de vista del mantenimiento, estos costos son gastos que aseguran el mantenimiento en la empresa y la vida útil de la maquinaria a mediano y largo plazo. La disminución del presupuesto y recursos destinados a este gasto fijo limita la cantidad de inversiones programadas, y al principio representa un ahorro para la empresa que después se traduce en mayor incertidumbre y gastos mayores para mantener a la empresa en su nivel óptimo.

b) **Costos Variables:** Estos costos tienen la particularidad de ser proporcionales a la producción realizada. Podemos destacar dentro de estos a costos como mano de obra indirecta, materia prima, energía eléctrica, además de los costes variables que incluyen el mantenimiento.

Dentro de los costos variables de mantenimiento nos encontramos básicamente con el de la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo será consecuencia de las averías imprevistas en la maquinaria, como de las reparaciones programadas por otros tipos de mantenimiento a la maquinaria.

Parecería que no fuera posible reducir el reducir este tipo de gasto de mantenimiento, dado que este viene directamente de la necesidad de realizar una reparación para poder seguir produciendo. La manera de reducir este tipo de gasto no pasa por dejar de hacer mantenimiento correctivo, si no por evitar que se produzcan las averías inesperadas.

c) **Costos Financieros:** Los costos financieros asociados al mantenimiento se deben tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción. El costo que supone los recambios de un almacén para realizar reparaciones, es un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia nos encontraremos con un mal menor, dado a que esto es una inversión que hace la empresa para mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, estamos incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa.

Dentro de estos gastos financieros debe tenerse en cuenta el coste que supone tener ciertas instalaciones o máquinas duplicadas para obtener una mayor disponibilidad. En determinadas circunstancias que se obliga a una disponibilidad total, es necesario montar en paralelo una máquina similar que permita la reparación de una de ellas mientras la otra está en funcionamiento. El coste de esta duplicidad puede olvidarse en el cómputo de los gastos de mantenimiento, pero debe tenerse en cuenta dado que el motivo de su presencia es el aumento de la disponibilidad y este concepto es responsabilidad de mantenimiento.

d) **Costos De Fallo:** El coste de fallo se refiere al coste o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento.

Normalmente, este concepto no suele tenerse en cuenta cuando se habla de los gastos de mantenimiento, pero su volumen puede ser incluso superior a los gastos tradicionales, costos fijos, costos variables y financieros. Este concepto es aplicable tanto a empresas productivas como a empresas de servicios.

Empresas Productivas: En las empresas productivas los costos por fallo en los equipos se deben principalmente a:

- Pérdidas de materia prima.
- Descenso de la productividad del personal mientras se realizan las reparaciones.
- Pérdidas energéticas por malas reparaciones o x no realizarlas
- Rechazo de productos por mala calidad

- Producción perdida durante la reparación, menores ventas, menores beneficios
- Averías medioambientales que pueden suponer desembolsos importantes.
- Averías que puedan suponer riesgo para las personas o para la instalación.
- Costos indirectos
- Pérdidas de imagen, ventas, etc.

A los costos que pueden generar estos hechos, se debe sumar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad.

Como se ha ido viendo a lo largo de esta explicación de los costos de mantenimiento, los costos fijos vienen a ser mínimos comparados con los costos variables y los costos de fallos.

Empresas De Servicios : En el caso de las empresas de servicios al no existir producción de coste de fallo, por lo tanto esta no será predominante, pero aun así no es menos importante, se relacionará con otros aspectos, como por ejemplo con la pérdida de clientes.

En el caso de las empresas de servicios es difícil cuantificar el coste de fallo, pero se pueden tomar indicadores del tiempo necesario para realizar las reparaciones desde que se conoce de estas hasta la culminación, tomando en cuenta que tipo de falla es para su comparación.

e) **Costo integral:** El costo integral es el resultante de la suma de los cuatro costos anteriormente descritos. Este costo nos da una idea más global de la gestión de mantenimiento que el análisis de cualquiera de los costos que la componen.

Con este costo se pretende relacionar no solo el gasto que el mantenimiento ocasiona a la empresa, sino también los posibles beneficios que pueda generar.

Como por ejemplo tenemos un caso que es representativo, el del aislamiento térmico. Si no se realiza un mantenimiento sobre el aislamiento, los gastos disminuyen, pero a su vez el consumo de energía aumentará. De ahí el buscar el equilibrio entre los costos y la cantidad de mantenimiento que se debe realizar.

$$Cg = Ci + Cf + Cs \quad \dots(\text{Ec. 7})$$

2.3.GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Alpin:** Equipo utilizado para determinar el tamaño de partícula de materiales frágiles o de baja gravedad específica. El equipo cuenta con una aspiradora, la que le genera una succión de aire a través de una boquilla ranurada que gira lentamente, donde permite fluidificar suavemente la muestra en un tamiz de 8 pulgadas de diámetro.
- **Análisis granulométrico:** Ensayo que se realiza en el laboratorio, mediante tamices de diferente enumeración, dependiendo de la separación de los cuadros de la malla.
- **Conminución:** Acción de fragmentar o disminuir el tamaño de un determinado material.
- **Eficiencia:** Es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados.
- **Fuerza motriz:** Toda causa capaz de producir efectos dinámicos sobre un cuerpo o partícula.
- **Grado de liberación:** Es una expresión cuantitativa de la magnitud en que la molienda es capaz de obtener partículas libres.
- **Gravedad:** Fuerza de atracción que efectúa la masa de la Tierra sobre los cuerpos situados en el campo gravitatorio terrestre.
- **Molienda:** Proceso que consiste en triturar una materia hasta reducirla a trozos muy pequeños o a polvo.
- **Molturación:** Método mecánico de disgregación en partículas muy finas.

- **Sobremolienda:** Proceso que consiste en triturar un material por debajo del tamaño requerido.
- **Molienda:** Proceso que consiste en triturar un material por arriba del tamaño requerido.
- **Velocidad angular:** Es la variación de la posición angular sobre el intervalo de tiempo.
- **Velocidad crítica:** Es la velocidad a la cual un cuerpo esférico pequeño dentro de un cilindro en movimiento empieza a centrifugar.

2.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. Hipótesis general

Mediante el diseño de una herramienta y el aumento de personal técnico se optimizará el mantenimiento en el cambio de forros del Molino Fuller.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Mediante el diseño de una herramienta para el manipulador de corazas se podrá retirar más de un elemento del interior del Molino Fuller.
- b) Mediante el Aumento de personal técnico se reduce el tiempo de parada.
- c) Reducción de los costos de mantenimiento de parada en el cambio de forros del Molino Fuller.

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

2.5.1. Operacionalización de variables de la hipótesis general.

Cuadro N° 3. Resultado de funcionamiento de molinos de bolas

Variab les	Definición operacional Aspectos/dimensiones	Indicador
- Tiempo de Parada.	Para cumplir con los índices antes descritos, juega un papel muy relevante el mantenimiento dentro de la industria, ya que aquí se concentra gran cantidad de recursos destinados a mantener la operatividad de las mismas.	Fallas de las máquinas. Tiempo muerto de las máquinas.

Fuente: Elaboración Propia.

2.5.2. Operacionalización de variables de las Hipótesis Específicas.

Cuadro N° 4. Resultado de funcionamiento de molinos de bolas

Variables	Definición operacional Aspectos/dimensiones	Indicador
<p>- Costo de Mantenimiento.</p>	<p>Es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. El sector de mantenimiento en la planta o en la empresa puede ser considerado por algunos gerentes como un gasto, para otros como una inversión en la protección del equipo físico, y para algunos como un seguro de producción.</p> <p>La actitud del gerente pasará a sus empleados (sean mecánicos u operarios) afectando directamente en los resultados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento de los equipos. • Disponibilidad de repuestos. • Recursos para mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

3.1.1. Tipo de estudio de investigación

El tipo de investigación es experimental. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es “transeccional exploratoria”; que implica conocer los diferentes parámetros, con el fin tener una información bien sustentada para la optimización del tiempo de mantenimiento de cambio en el cambio de forros de Molino.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.

3.2.1. Población de la investigación

La población de estudio es la empresa Southern Perú ubicada en Toquepala

3.2.2. Muestra de la investigación.

Tomamos como un caso particular el molino de bolas tipo Fuller de la empresa Southern Perú donde se efectuó la investigación.

3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

3.3.1. Ubicación de la población.

La ubicación de la empresa Southern Perú en el Distrito Ilabaya, Provincia de Jorge Basadre de la Región de Tacna.



Figura N° 13: Ubicación mina Toquepala
Fuente: Google Maps

3.3.2. Descripción de la población.

- **Southern Peru Copper Corp.**

Southern Peru Copper Corp. (SPCC) es la sucursal registrada de Southern Copper (SCC) en Perú, fundada en 1954 para desarrollar actividades mineras en el país. SPCC es el mayor productor del metal rojo en el país. La compañía opera las minas Cuajone y Toquepala en Perú, así como la fundición Ilo. También es dueña de la operación aurífera Tantahuatay en la Región Cajamarca con Buenaventura, productor local de metales preciosos. Sus proyectos incluyen el proyecto de cobre y molibdeno Los Chancas y el proyecto de cobre de Tía María en la Región Arequipa. SPCC es una filial indirecta y de completa propiedad del conglomerado mexicano Grupo México.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Técnica para la recolección de información. Por ser un tipo de investigación experimental se usó el método sistemático de materiales bibliográficos o análisis documental.

3.5. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La técnica para el procesamiento y análisis de los datos y o la literatura revisada en esta investigación exploratoria y expresarlo en el marco teórico, se usó: “el método de índice” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010).

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA MANTENIMIENTO DE CAMBIO DE FORROS DE MOLINOS

4.1.1. DETERMINACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL CAMBIO DE FORROS DE MOLINO FULLER.

En la determinación e implementación de cambio de forros del molino fuller se realizó la toma de datos y comparación de tiempos durante la realización de la parada de planta programada por la empresa Southern Peru.

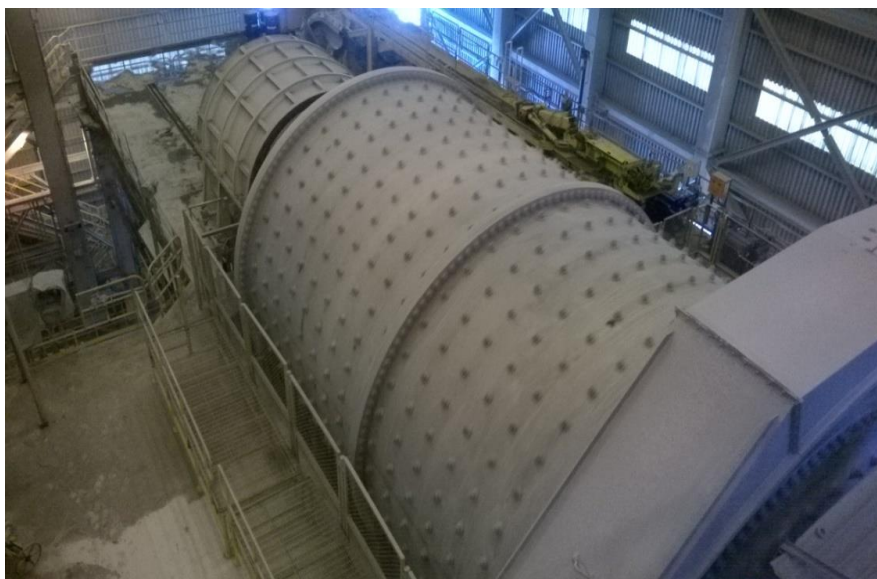


Figura N° 14 Molino Fuller Concentradora Toquepala
Elaboración: Propia.

1. Tiempo.

Cuadro N° 5 Planificación de tiempos de trabajo

Proceso	Horas
Inicio	1 h
Planificación	12 h
Ejecución, supervisión y control	66 h
cierre	2 h
Total	81 Horas

Fuente: Elaboración Propia

Fecha ejecución de trabajo. Los trabajos se realizaran en 02 turnos de la siguiente manera.

Cuadro N° 6. Fecha de Ejecución de Trabajo.

Fecha de trabajo: 20, 21 y 22 de abril del 2017	
Turno A	8:00 a.m. – 8:00 p.m.
Turno B	8:00 p.m. – 8:00 a.m.
Duración total de trabajo	72 Horas

Fuente: Elaboración Propia

Tiempos unitarios de instalación de forros

Cuadro N° 7. Tiempo de instalación de forros

Tiempos de instalación registrados				
Item	Revestimiento	Día	Noche	Promedio
1	Feed Shell	04 Filas	10 Filas	24 horas
	Center y Outer	4	08	
2	Feed Shell	12 Filas	12 Filas	24 horas
	Center y Outer	10	10	
3	Feed Shell	6 Filas	-	18 horas
	Center y Outer	4	-	

Fuente: Elaboración Propia

- 2. Materiales:** Incluye los revestimientos y elementos de sujeción los cuales fueron utilizados en su totalidad.

Cuadro N° 8. Cantidad de Liners

LINERS		
Item	Descripción de Liner	cantidad
1	Shell Liner	264
2	Outer y Center Liner	44, 44

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 9. Medidas de los elementos de sujeción pernos y tuercas.

ELEMENTOS DE SUJECIÓN					
Item	Descripción	Dimensiones			Cantidad
		Pernos	Tuercas	Arandelas	
1	Shell Liner bolt	11"x2-1/4"	2-3/8"x2-1/4"	3"x2-1/4"	792
2	Head liner bolt	14"x2-1/4"	2-3/8"x2-1/4"	3"x2-1/4"	176
		16"x2-1/4"			44

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 15. Pernos de molino Fuller.

Fuente: Elaboración Propia

4.2 DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS HUMANOS POR PROCESO EN EL TRABAJO

Cuadro N° 10. Distribución de personal para el trabajo.

Función	Turno	Turno	Total
	“A”	“B”	
Supervisor	1	1	2
Ingeniero de Seguridad	1	1	2
Operador Enlainador	1	1	2
Mecánico al Interior Molino	6	6	12
Operador de Carro Enlainador	1	1	2
Mecánico Exterior Molino	3	3	6
Soldador	2	2	4
			30

Fuente: Elaboración Propia.

4.3 DESCRIPCIÓN DE TRABAJO.

El Trabajo de Cambo de Forros de Molino Fuller se dividirá por actividades y se hará una descripción de cada una de ellas, ya que se encuentra dentro del plazo de ejecución del cambio de forros, las actividades son:

- a) **Coordinación:** Esta actividad la ejecutará el Supervisor responsable de la contrata con el molino en standby y previa coordinación con el supervisor de SPCC y el Electricista de turno el que indicará el momento del inicio del mantenimiento del mismo.
- b) **Bloqueo y etiquetado:** Una vez cortada la tensión eléctrica del Molino Fuller el personal de la contrata procederá a colocar las tarjetas de seguridad de bloqueo y los candados en forma individual en la caja de seguridad de bloqueo eléctrico grupal ubicado en plataforma molino Fuller a cargo del Supervisor de Seguridad de la contratista para su respectiva coordinación con el usuario y electricista de turno de SPCC. Dentro de la caja está contenida la llave maestra de la cuchilla principal del Molino Fuller, Solo se procederá a su retiro terminando la tarea del cambio de forros del Molino Fuller, programado para su mantenimiento 65 horas. Así mismo se indica que solo el dueño y/o usuario de tarjeta y candado será el ÚNICO en retirar el mismo.
- c) **Desmontaje de Caja de Descarga (Trommel):** Personal de Mecanico procede a retirar la tapa de caja de descarga del molino, una vez retirado la tapa se colocara la misma en un lugar que no impida el transito del personal así como no interfiera en las demás operaciones.

A continuación procedemos a retirar el TROMMEL, para ello retiramos los pernos que lo sujetan al molino, pero primeramente lo estrobamos a la grúa puente tal como se muestra en la figura.



Figura N° 16. Desmontaje de Trommel Molino Fuller
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 17. Desmontaje de Trommel molino Fuller
Fuente: Elaboración propia

- d) **Retiro de baranda y montajes provisionales:** Personal mecánico de la empresa contratista procede a retirar las barandas de protección del molino.
- e) **Instalaciones Provisionales:** El personal mecánico de la contratista designados, proceden a colocar en el interior del molino sistemas de ventilación, utilizando para ello extractores de aire tipo campana, así mismo se colocara sistemas de iluminación empleando para ello extensiones eléctricas y luminarias portátiles a prueba de agua, esta actividad estará a cargo de un mecánico y electricista.
- f) **Corte de planchas al interior del molino:** Personal de soldadores de SEPERSUR con el sistema de ventilación e iluminación operativas, inician la labor de corte en las uniones de planchas, para liberar las planchas de las bolas de acero utilizando para ello equipos de oxiacetilénico. Los soldadores y ayudantes trabajarán en el interior del molino en forma alternada ya que el espacio es confinado, este personal deberá utilizar equipos de protección personal completo, durante la ejecución de esta actividad; se monitoreará previamente el ambiente interior del molino con el apoyo del personal y equipo de Seguridad Industrial de SPCC y se llenará el formato de autorización de trabajo en espacio confinado. Así mismo se tendrá una autorización para trabajos en caliente.



Figura N° 18. Corte de Planchas desgastadas molino Fuller
Fuente: Elaboración propia

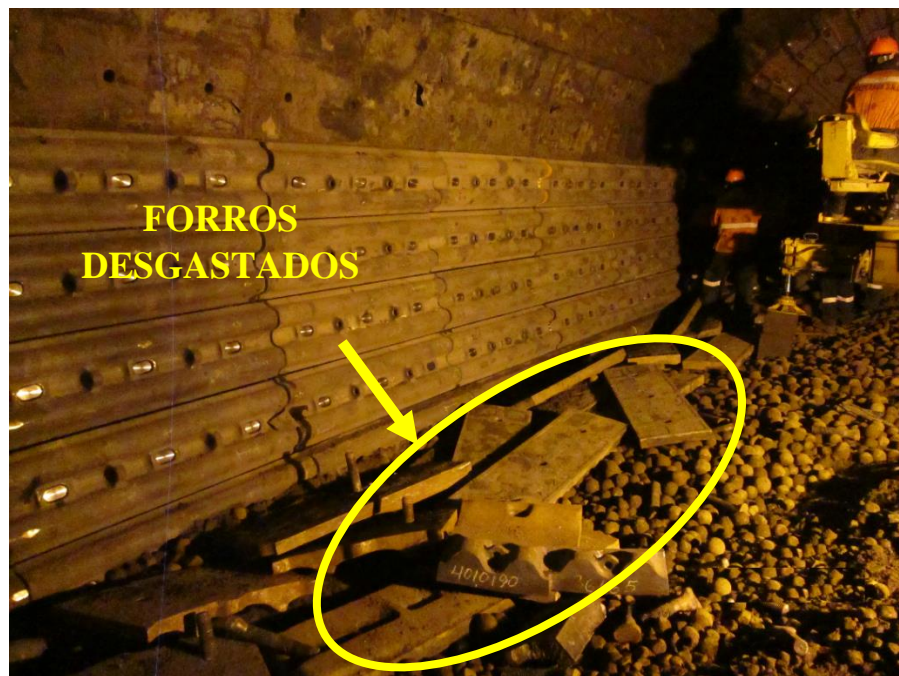


Figura N° 19 (a). Apilamiento de forros desgastados molino Fuller.
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 19 (b). Apilamiento de forros desgastados molino Fuller
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 20. Retiro de forros desgastados con manipulador de corazas
Fuente: Elaboración propia

g) Retiro de Forros Desgastado y colocación de nuevos forros en el Cilindro y tapa de alimentación y Descarga.

Este tipo de trabajo se ejecuta luego de concluido la actividad de corte de planchas al interior del molino siguiendo los procedimientos.

h) Montaje de Grúa Manipulador de Corazas: Personal mecánico de la contrata procede a instalar en primer lugar una viga de acero al interior de la caja de descarga del molino este a su vez será el soporte de la grúa Manipulador de Corazas, utilizando la grúa puente, estrobos, grilletes y mangueras de agua para el sistema de enfriamiento de grúa.

i) Retiro de Tuercas de Acero: Personal mecánico (operadores llaves de impacto) proceden a retirar las tuercas de acero de 1/8” de diámetro los que están al exterior del molino, esto para soltar las planchas utilizando para ello llaves de impacto con encastre de 1.1/2” el que es accionado con aire comprimido; esta labor se efectuara en permanente coordinación con la cuadrilla que trabaja en el interior del molino



Figura N° 21. Desajuste de tuercas molino Fuller.
Fuente: Elaboración propia

- j) Retiro de pernos y planchas usadas: Personal mecánico procede al retiro de los pernos de acero utilizando para ellos combas de 14 Lb. Así, las tuercas serán aflojadas, retiradas juntamente con las gomas quedando solo el perno en toda la fila de forros para el corte con equipo Autógeno, una vez retirada la primera fila de forros se coordinará con los encargados del uso de llave de impacto para su retiro de tuercas y gomas para su posterior golpe mecánico usando combo un promedio de 8 golpes por perno y así de manera progresiva retirar los pernos de las 5 filas de forro lateral vertical del cilindro, lado de la plataforma, al retirar estos pernos liberara las planchas y estas caerán al interior del molino todo el personal debe estar fuera del cilindro para la caída de los forros, una vez caído las 5 filas de forros se procede a ingresar previa inspección de peligro, se recomienda distancia prudente y atención permanente.

k) **Eliminación de planchas usadas:** El personal mecánico ingresa al interior del molino para retirar las planchas. Las planchas usadas se enganchan y se estroban para su izaje y retiro con el manipulador hacia el carro porta planchas, luego se traslada del interior del cilindro hacia la parte final del carril las planchas usadas, en este punto se estroba y se retira con la Grúa puente hacia la plataforma para su apilamiento con las respectivas cuñas de madera, la cantidad de planchas apiladas no debe exceder de 5 unidades y posteriormente se coordinará para su izaje y se trasladará a la tolva del camión volquete, el mismo que está a tiempo completo durante la parada del molino ya que la evacuación de este material del interior del molino hacia plataforma es plancha por plancha, esta actividad se cumple utilizando para ello el manipulador de forros, estrobos, grilletes, barretas, carrito porta planchas grúa puente y herramientas manuales.

Montaje de planchas nuevas en el molino: La colocación de las planchas será con cinco grupos distribuidos en forma paralela:

Eliminación de planchas usadas: El personal mecánico ingresa al interior del molino para retirar las planchas. Las planchas usadas se enganchan y se estroban para su izaje y retiro con el manipulador hacia el carro porta planchas, luego se traslada del interior del cilindro hacia la parte final del carril las planchas usadas, en este punto se estroba y se retira con la Grúa puente hacia la plataforma para su apilamiento con las respectivas cuñas de madera, la cantidad de planchas apiladas no debe exceder de 5 unidades y posteriormente se coordinará para su izaje y se trasladará a la tolva del camión volquete, el mismo que está a tiempo completo durante la parada

del molino ya que la evacuación de este material del interior del molino hacia plataforma es plancha por plancha, esta actividad se cumple utilizando para ello el manipulador de forros, estrobos, grilletes, barretas, carrito porta planchas grúa puente y herramientas manuales.

- I) **Montaje de planchas nuevas en el molino:** La colocación de las planchas será con cinco grupos distribuidos en forma paralela.

4.4 PLANIFICACIÓN DE MONTAJE Y RETIRO DE FORROS.

4.5 DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA IZAJE Y RETIRO DE FORROS USADOS.

El objetivo de esta herramienta es la de agilizar en el retiro de los forros desgastados, para lo cual con la ayuda de una cadena hace que sea más rápido el apilamiento de los forros.



Figura N° 22. Gancho de izaje de forros
Fuente: Elaboración propia

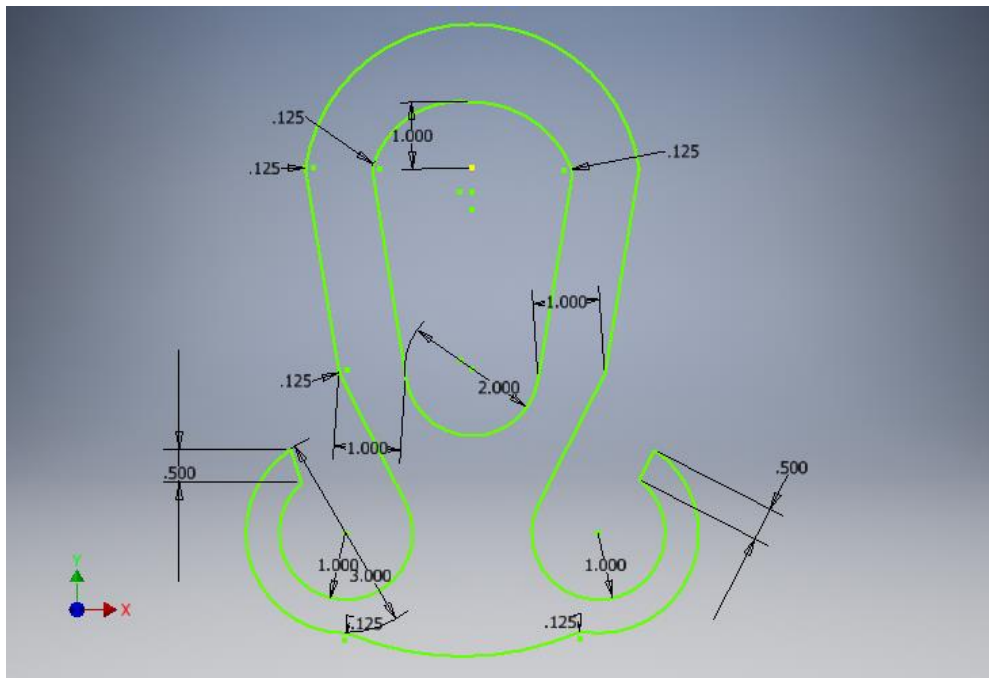


Figura N° 23 Dibujo de Gancho de izaje
Fuente: Elaboración propia

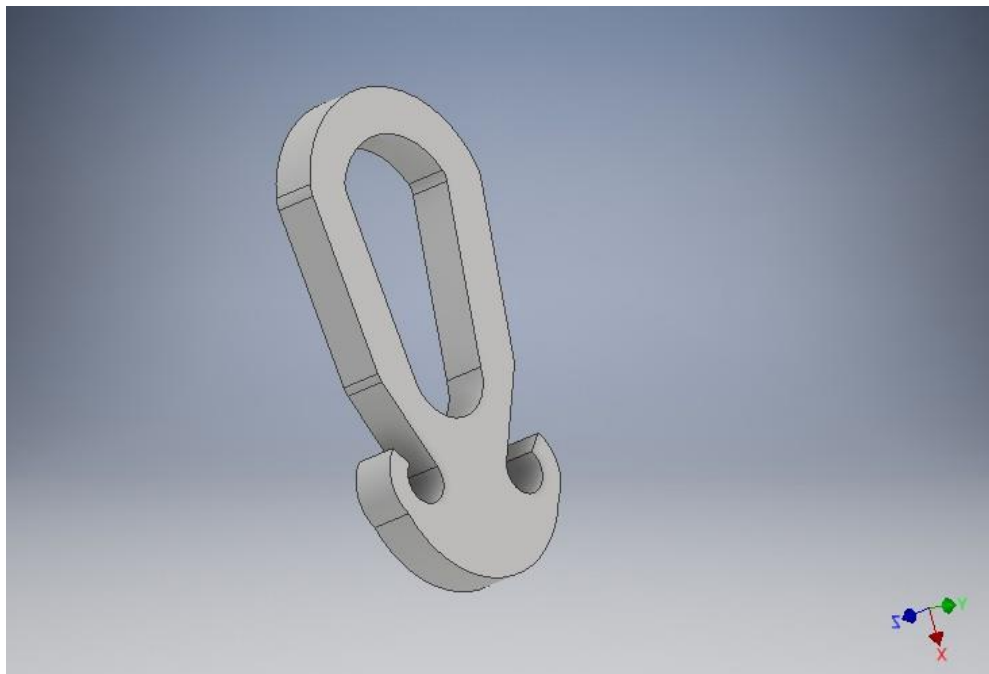


Figura N° 24 Dibujo Gancho de izaje en 3D
Fuente: Elaboración propia

4.6 SELECCIÓN DE CADENA.

Para seleccionar el tipo de cadena sabemos que el peso de los forros es de 750 Kg y que el tamaño del agujero de los forros es 2-1/4", de acuerdo a estos datos nos vamos a catálogo. Anexo N° 2. En lo cual se eligió la cadena DIN. 766 de grado 80, medida del diámetro es de 3/8" y su empleo es para minería.

4.7 COMPARACIÓN DE TIEMPOS EN EL RETIRO DE LOS FORROS DESGASTADOS DEL MOLINO FULLER.

Cuadro N° 12. Comparación de tiempos de trabajo

TIEMPOS DE RETIRO DE FORROS				
Item	Trabajo con estrobos		Trabajos con cadena	
	Forros Extraídos	Tiempo	Forros Extraídos	Tiempo
1	4 forros	20 min	4 forros	9 min
2	4 forros	20 min	4 forros	9 min
3	4 forros	20 min	4 forros	9 min
4	4 forros	20 min	4 forros	9 min
5	4 forros	20 min	4 forros	9 min
6	4 forros	20 min	4 forros	9 min
7	4 forros	20 min	4 forros	9 min
8	4 forros	20 min	4 forros	9 min
9	4 forros	20 min	4 forros	9 min

Continúa...

10	4 forros	20 min	4 forros	9 min
11	2 forros	12 min	2 forros	6 min
TOTAL	42 forros	212 min	42 forros	96 min

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la comparación de la tabla anterior se observa que el retiro de forros con el cancho de anclaje y la cadena el tiempo es menor que la del trabajo con estrobos.

CONCLUSIONES

PRIMERO. Mediante el uso de la herramienta del gancho de anclaje con la cadena se tuvo la optimización del tiempo de cambio de forros de Molino Fuller. El trabajo está dado para 72 horas, pero este se realizó en 66 horas para lo cual se obtuvo una optimización de tiempo de 6 horas y esto es beneficioso para la empresa.

SEGUNDO. El diseño de la herramienta del gancho de anclaje para que pueda trabajar con la cadena reduce los tiempos de retiro de los forros desgastados del interior del molino Fuller en un 40% y esto nos conlleva a mejorar los tiempos de trabajos solicitados por la empresa Southern para el cambio de forros del molino Fuller. Por lo contrario un aumento de personal nos ocasionaría un costo insulso porque se tendría horas hombre muertas por que estaría sobrando personal.

TERCERO. El molino Fuller tiene una producción de 500 TMSH con la optimización del tiempo de 72 Horas a 66 Horas tendríamos una reducción en pérdidas de 3000 TMSH lo cual esto es beneficioso para la empresa Southern Perú.

SUGERENCIAS

Las siguientes sugerencias quedan a ser analizadas y/o implementadas en futuros trabajos de investigación relacionados al tema.

PRIMERO. Trabajar con 04 tamos de cadena de 02 metros para tener un mejor avance en los trabajos de retiros de forros desgastados.

SEGUNDO. Organizar y capacitar mejor al personal técnico para realizar un mejor trabajo con el gancho y la cadena.

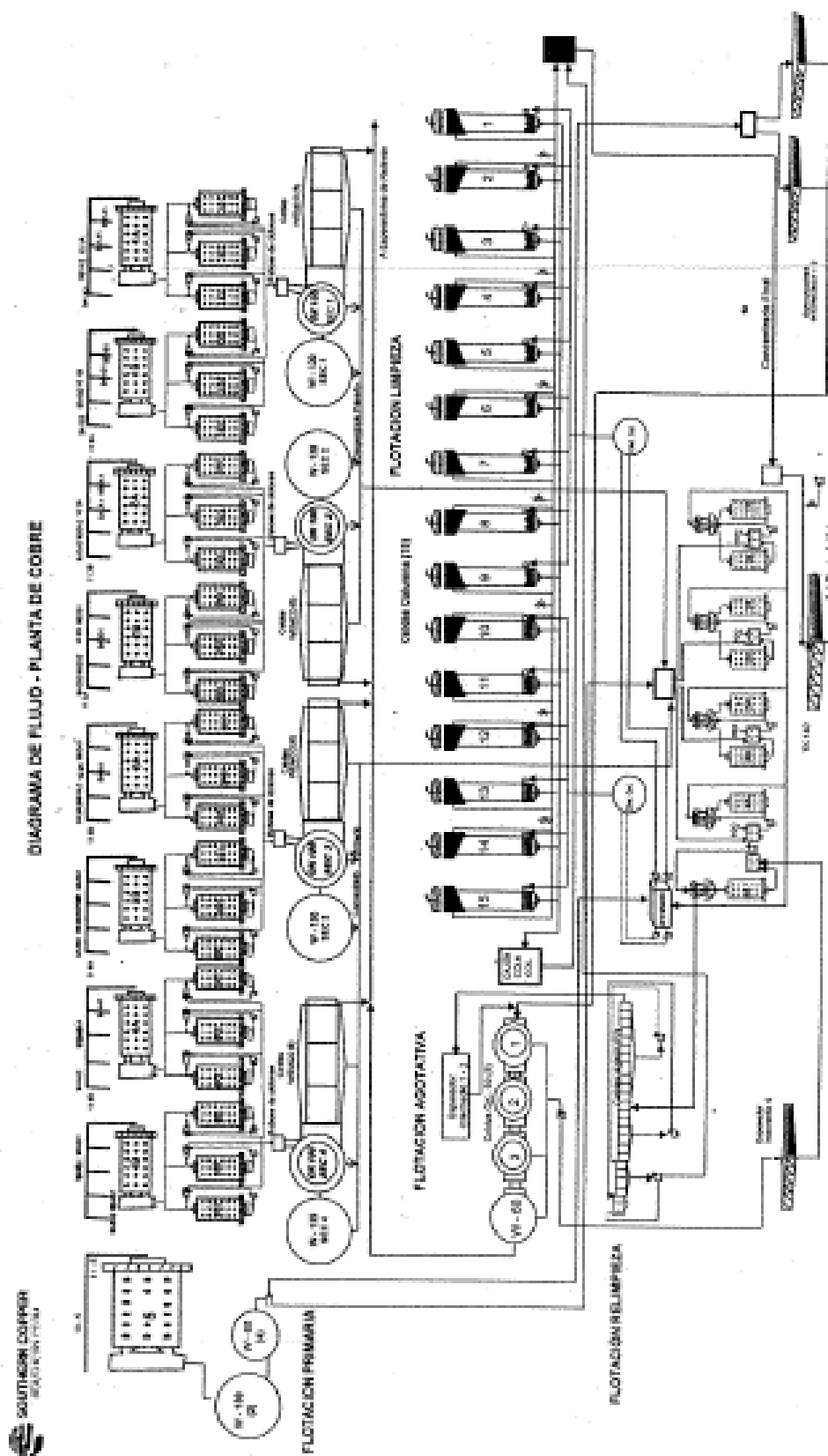
TERCERO. Realizar el debido mantenimiento preventivo a las herramientas y equipos para evitar su corrosión y maltrato de estos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÁNTARA, J. (2008). Diseño práctico de un molino de bolas. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico). México.
- ÁVILA, Rubén. (1995) Fundamentos de mantenimiento guías económicas, técnicas y administrativas, México.
- BASURTO CONTRERAS, Cesar. (1997) Control de un chequeo rápido de variables de molienda-clasificación en una planta concentradora.
- GIULIANI, (2006) Manual de mantenimiento y operación de la mezcladora.
- GIULIANI, (2006) Manual de mantenimiento y operación del molino.
- HERNÁNDEZ, Eugenio. (2004) Conferencia internacional de ciencias empresariales. Sistema de cálculo de indicadores para el mantenimiento.
- HUACUZ, Héctor. (2003) 1er Congreso confiabilidad y mantenimiento. México.
- JUÁREZ, Henry. (2007) Análisis de criticidad.
- PARRA, Carlos. (1997) Metodología de implantación del mantenimiento centrado en confiabilidad. Universidad de los Andes, Venezuela.
- SEXTO, Luis Felipe. (2002) La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- SOTUYO BLANCO, Santiago. (2004) Séptimo congreso panamericano de ingeniería de mantenimiento.
- TAVARES, Lourival (2002). Administración moderna de mantenimiento.

ANEXOS

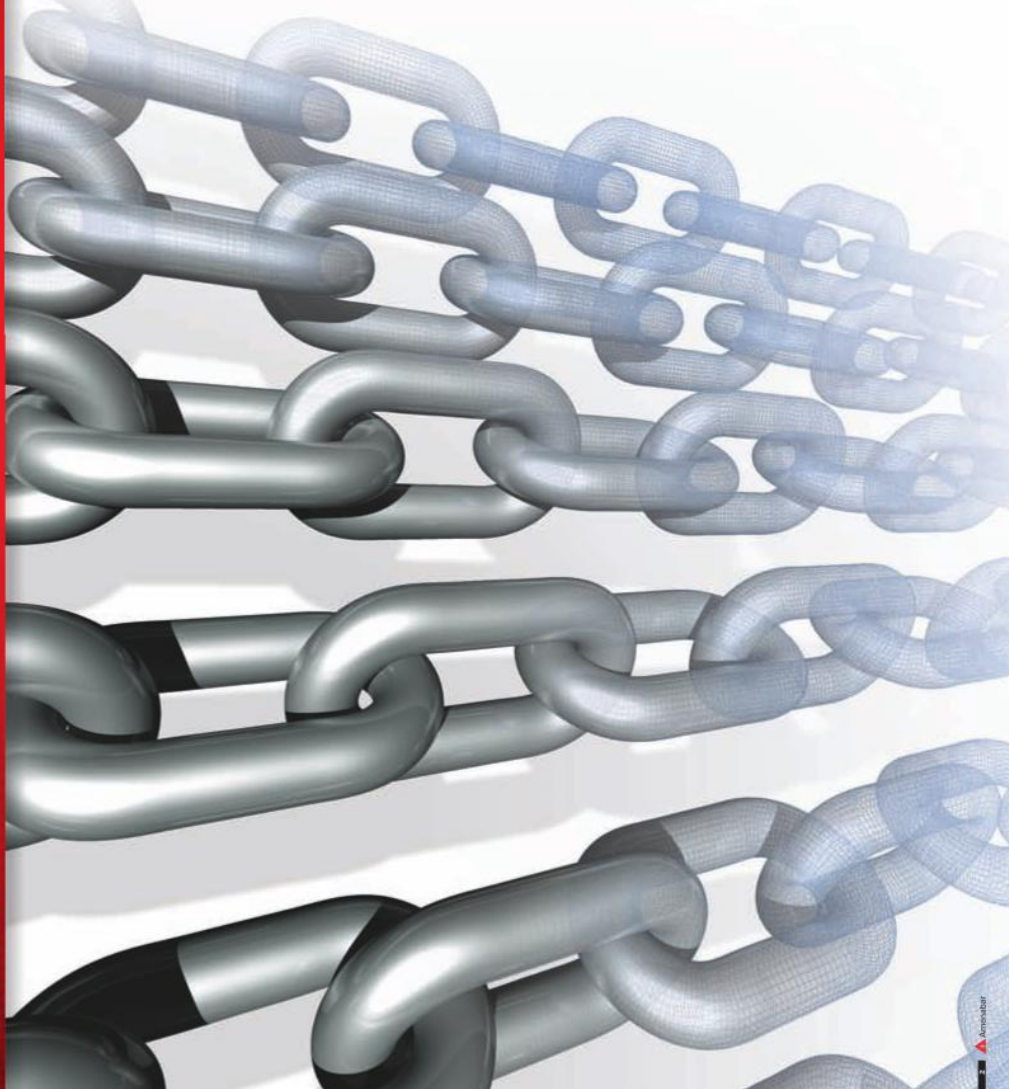
Anexo N° 1: Diagrama de flujo planta concentradora Mina Toquepala.



Anexo N° 2: Catalogo Amenabar para selección de cadena



- 1. Las cadenas pg. 4
 - Tipos de cadena
 - Materiales
 - Formas
 - Geometría
 - Tratamientos térmicos
 - Recubrimientos
 - Calibración
 - Prueba
 - Identificación de las cadenas
- 2. Proceso de fabricación en Amenabar pg. 8
 - Recepción de materiales
 - Montadora
 - Soldadora
 - Atados
 - Pulido
 - Zincado
 - Galvanizado
 - Expediciones
- 3. Cadenas Grado-30 pg. 10
 - Cadena Comercial (recta y retorcida)
 - Cadena DIN-764
 - Cadena de eslabón largo
 - Cadena ovalada
 - Cadena DIN-766
- 4. Cadenas en forma de eslabón recto pg. 12
 - Cadena ronzal para perro, de eslabón recto
 - Cadena ronzal para cabras, de eslabón recto
 - Cadena para bueyes, de eslabón recto
- 5. Accesorios para cadenas en forma pg. 12
 - Anilla redonda
 - Giratorio forjado sin anilla o con anilla
- 6. Cadenas de acero inoxidable AISI-316 pg. 13
 - Cadena de eslabón semi-largo Grado-43
 - Cadena DIN-9684 Grado-50
- 7. Cadena comercial zincada en bobinas pg. 14



Las cadenas

Tipos de cadena

Los distintos tipos de cadena son determinados por el material, la forma (recta, ovalada, retorcida...) así como por la relación entre el paso, el ancho de la cadena y el diámetro del alambre de partida. También puede diferenciarse por el proceso de fabricación: si incluye o no tratamientos térmicos para mejorar sus características mecánicas o el recubrimiento, proporcionando gran resistencia a la oxidación y mejorando su apariencia.

Materiales

Las cadenas pueden fabricarse en:

- acero al carbono
- aceros aleados
- aceros inoxidables

Formas

- Las cadenas más habituales son las denominadas rectas y sus aplicaciones son universales.
- Las ovaladas tienen el perfil del eslabón ovalado, permitiendo que un gancho entre dentro del eslabón y realice trinquetes con las mismas.
- Las retorcidas son empleadas habitualmente en los sistemas de seguridad, pues el retorcimiento aumenta su resistencia a la tracción.

Geometría

La geometría de las cadenas está descrita por normas que indican la relación entre el diámetro del alambre de partida, el paso del eslabón y su ancho.

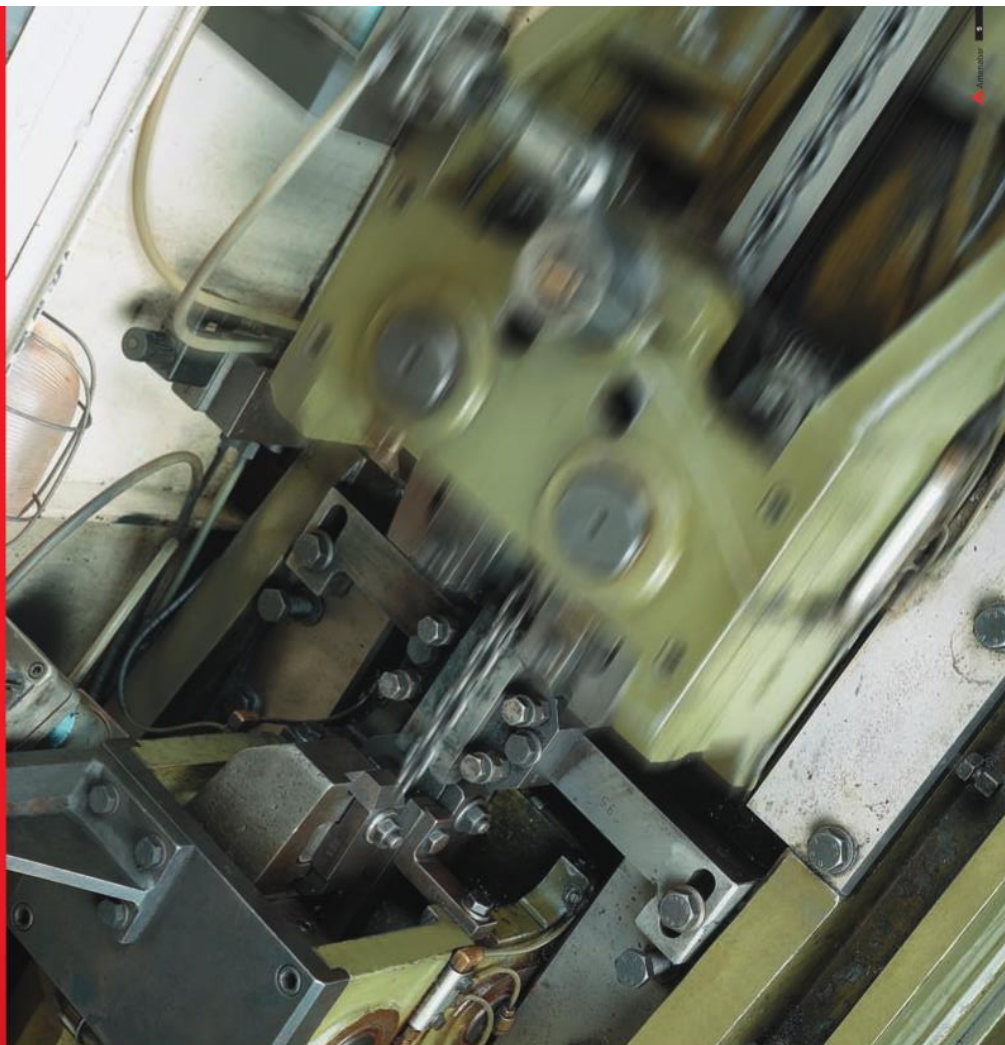
Amenabar fabrica cadenas comerciales y cadenas según normas DIN 5887, DIN 5884, DIN 704, DIN 703, DIN 702, DIN 706, pudiendo además fabricar cadenas de acuerdo a otras normas o exigencias de los clientes.

Tratamientos térmicos

Las cadenas de alta resistencia deben llevar un tratamiento térmico, para obtener las características mecánicas que se les van a exigir en el desempeño de su trabajo.



Amenabar



Recubrimientos

La cadena se puede comercializar en tres acabados:

- Negra, tal como sale de la línea de producción.
 - Pulida, sometida a un proceso de pulido mecánico, que mejora su aspecto al eliminar todas las impurezas superficiales del alambre. Además elimina todas las rebabas que hayen podido quedar en el proceso de fabricación, pero no le confiere ninguna resistencia a la oxidación.
 - Recobierta, tratada químicamente, mediante la aportación de elementos que protegen la superficie del alambre contra la oxidación.
- En la cadena comercial el principal recubrimiento es el galvanizado electrolítico o zincado, que proporciona brillo (aspecto muy bonito) y una resistencia media a la corrosión.
- Otros acabados posibles, como el galvanizado al fuego, no proporcionan un aspecto tan bonito pero su resistencia a la corrosión es muy superior.
- Hay otros recubrimientos orgánicos, que pueden llegar a conseguir resistencias a la corrosión formidables.
- En algunos casos se requieren acabados en pintura. (Cadenas ornamentales).

Calibración

Cuando las cadenas deben de tener un paso garantizado, para pasar por ruedas de alveolos (por ejemplo en sistema de elevación o transporte) o cualquier otro sistema que exija precisión de paso, es cuando debemos calibrar la cadena. Este proceso uniformiza el paso de la cadena. Además en **Amenabar**, esta operación, garantiza una prueba de carga de la cadena

Prueba

Cuando el cliente lo requiere, las cadenas son sometidas a un ensayo de tracción, a una carga de prueba que es determinada por distintas normas. En estas pruebas la carga es siempre inferior al límite elástico de la cadena.

Todas las cadenas destinadas a elevación deben ser sometidas a esta prueba.

Identificación de las cadenas

Las cadenas se identifican por el diámetro del alambre de partida, así llamamos cadena de 2 a la que se fabrica con un alambre de 2 mm. de diámetro.

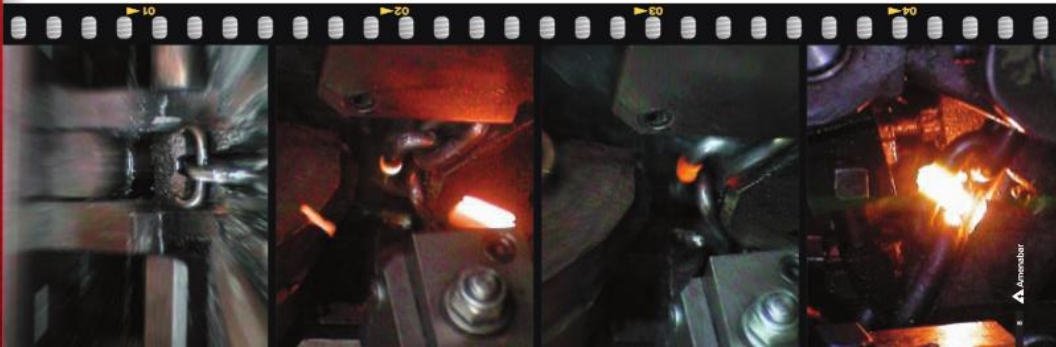
LAS DISTINTAS NORMAS, NOS INDICAN LA RELACIÓN DEL PASO DE CADA ESLABÓN CON ESTE DIÁMETRO Y LO MISMO DEL ANCHO DEL ESLABÓN CON EL DIÁMETRO.

Luego definiremos el tipo de acabado que deseamos (negro, pulido, zincado, galvanizado al fuego, pintado, etc)

Si además deseamos o necesitamos calibrado, lo deberemos de indicar en el pedido.



Proceso de fabricación



Recepción de materiales

Los proveedores de Amenabar son una parte fundamental de nuestro proceso de fabricación. Por eso seleccionamos los mejores proveedores y utilizamos los materiales más adecuados a cada tipo de producto.

Montadora

Para obtener una cadena adecuada, es necesario configurar bien la máquina montadora. El desarrollo de cada eslabón es fundamental para que no surjan problemas posteriores de alineamiento.

El buen cizallado de cada eslabón unido a la correcta alineación de los utilajes, hacen que la geometría del eslabón sea perfecta.

Además, es imprescindible la aportación de material suficiente, para que pueda fusionar bien en las máquinas de soldar. Y es que en Amenabar, nos gustan las cosas bien hechas.

Soldadora

Para un buen acabado de la cadena es imprescindible que se suelde bien.

El tiempo, la intensidad, la presión adecuada de las mordazas, hacen de la cadena Amenabar, la mejor del mercado. Reducir estos parámetros, reduce el coste del producto, pero ¿y la calidad?

Para hacer las cosas bien, como nos gustan en Amenabar, es imprescindible el perfecto dominio de todos esos parámetros.

Manipulación

La intervención de las personas es muy importante en el proceso de producción. Con la sensibilidad, formación y experiencia, y soportados por los mejores medios de producción, llegamos a producir la cadena en máquinas automáticas.

Sin embargo esa cadena para operaciones de acabado, debe ser trabajada por las manos expertas de nuestro personal, que preparan los estados de cadena de forma que no se hagan nudos en los paquetes, que se van a pulir o zincar.

En Amenabar, la perfecta manipulación de la cadena ayuda a nuestros clientes a no perder tiempo en el momento de su manipulado en los sacos o cajas.

Esto permite, a todos nuestros clientes, ahorrar tiempo y dinero. En definitiva obtenemos MAYOR RENTABILIDAD.



Pulido

El pulido nos proporciona un buen aspecto de la cadena y permite eliminar posibles filos, que hayan quedado tras el rebabado en la máquina de soldar.

En Amenabar, por que la calidad es nuestra norma, pulimos todas las cadenas, incluso las que posteriormente reciben un recubrimiento.

Zincado

El zincado proporciona una resistencia a la oxidación y mejora la presentación de la cadena.

La calidad del zincado depende del espesor de la capa así como del recubrimiento en todas las áreas del producto a recubrir.

En Amenabar, cubrimos nuestra cadena con el doble de espesor que la competencia (mas del doble de tiempo de resistencia a la oxidación) y conseguimos un mejor acabado.

Galvanizado y otras terminaciones

En función de las necesidades de nuestros clientes, podemos suministrar la cadena con el recubrimiento adecuado a cada necesidad.

Expediciones

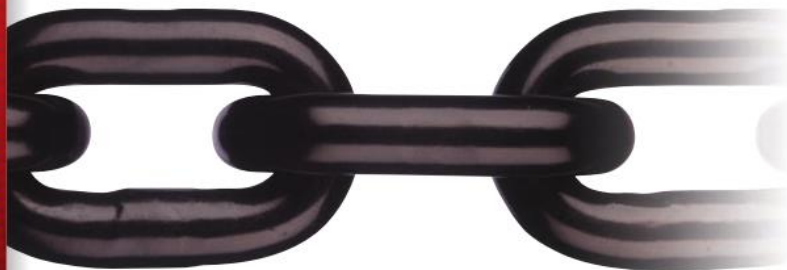
Cada día realizamos expediciones de mercancía para nuestros clientes.

Estamos permanentemente trabajando para optimizar nuestros plazos de entrega, haciéndolas de forma inmediata en la mayoría de los pedidos recibidos.

Para ello, hemos automatizado nuestros almacenes.



Cadenas Grado-30



La experiencia y saber hacer de **Amenabar** en el desarrollo y fabricación de cadenas y aparatos de elevación, hace que nuestras cadenas sean sinónimo de seguridad y calidad, siendo objeto de especificación en muchas industrias como Ingenierías, astilleros, siderurgia, pesca, etc.

La cadena **Amenabar** Grado-30 está fabricada con maquinaria de alta tecnología, y con materiales calados según Normas DIN-17115. La cadena Grado-30 está fabricada según Normas DIN y cada lote de fabricación es aceptado tras el resultado satisfactorio de la inspección de muestras.

Las cargas indicadas en las tablas sólo son valores teóricos, y las cadenas no han sido probadas respecto a resistencia.

La cadena será probada en su totalidad, bajo pedido, emitiendo **Amenabar** su correspondiente certificado de prueba.

Precauciones

- Nunca superar la Carga de Trabajo.
- La carga de trabajo de la cadena puede ser reducida por su abuso o mal uso (retorcer, desfigurar, deterioro por deformación, uso ó corrosión, exceder la carga de trabajo máxima, etc.).
- Esta cadena **no es apta** para elevación.

Algunos aspectos relativos al suministro de la cadena en tira

- **Acabado:** Pulido, Galvanizado Electrofitico (Zincado), Galvanizado al Fuego, Cementado, Pintado, etc.
- **Envasado:** En sacos de 50 Kg. hasta \varnothing 10 mm. Desde \varnothing 12 mm. en atados de 100 Kg. Opcionalmente en Bidones metálicos de 50 Kg. y de 500 Kg. Para Cajas de cartón de 10, 20 ó 25 Kg., consultar.
- **Unidad de pedido:** Cadena DIN-766 en fracciones de 50 m. Resto de cadenas en fracciones de 50 Kg.

Cadena Comercial (recta y retorcida)

Diámetro d	Paso t	Ancho Exterior b		Peso.	Coef. seg. 100 m. máx.	Carga de prueba	Carga real
		mm.	inches				
2	7.64	9	0.354	0.12	-	-	-
3	11.43	10	0.394	0.17	-	-	-
4	15.24	12	0.472	0.26	0.17	70	56
5	19.05	15	0.591	0.30	0.20	157	125
6	22.86	18	0.709	0.34	0.23	320	255
7	26.67	21	0.827	0.38	0.27	480	380
8	30.48	25	0.984	0.39	0.30	660	520
9	34.29	30	1.181	0.43	0.34	870	690
10	38.10	36	1.417	0.46	0.38	1140	900
12	47.64	45	1.772	0.51	0.43	1500	1200
14	57.18	54	2.127	0.56	0.48	1980	1580
16	66.72	63	2.482	0.61	0.53	2580	2070
18	76.26	72	2.837	0.66	0.58	3300	2670
20	85.80	81	3.192	0.71	0.63	4140	3300
22	95.34	90	3.547	0.76	0.68	5100	4050
24	104.88	99	3.902	0.81	0.73	6180	4950
26	114.42	108	4.257	0.86	0.78	7380	5940
28	123.96	117	4.612	0.91	0.83	8700	7020
30	133.50	126	4.967	0.96	0.88	10140	8100
32	143.04	135	5.322	1.01	0.93	11700	9300
34	152.58	144	5.677	1.06	0.98	13380	10620
36	162.12	153	6.032	1.11	1.03	15180	12060
38	171.66	162	6.387	1.16	1.08	17100	13620
40	181.20	171	6.742	1.21	1.13	19140	15300
42	190.74	180	7.097	1.26	1.18	21300	17100
44	200.28	189	7.452	1.31	1.23	23580	19020
46	209.82	198	7.807	1.36	1.28	26000	21060
48	219.36	207	8.162	1.41	1.33	28560	23220
50	228.90	216	8.517	1.46	1.38	31260	25500
52	238.44	225	8.872	1.51	1.43	34100	27900
54	247.98	234	9.227	1.56	1.48	37080	30420
56	257.52	243	9.582	1.61	1.53	40200	33060
58	267.06	252	9.937	1.66	1.58	43460	35820
60	276.60	261	10.292	1.71	1.63	46860	38700
62	286.14	270	10.647	1.76	1.68	50400	41700
64	295.68	279	11.002	1.81	1.73	54080	44820
66	305.22	288	11.357	1.86	1.78	57900	48060
68	314.76	297	11.712	1.91	1.83	61860	51420
70	324.30	306	12.067	1.96	1.88	65960	54900
72	333.84	315	12.422	2.01	1.93	70200	58500
74	343.38	324	12.777	2.06	1.98	74580	62220
76	352.92	333	13.132	2.11	2.03	79100	66060
78	362.46	342	13.487	2.16	2.08	83760	70020
80	372.00	351	13.842	2.21	2.13	88560	74100
82	381.54	360	14.197	2.26	2.18	93500	78300
84	391.08	369	14.552	2.31	2.23	98580	82620
86	400.62	378	14.907	2.36	2.28	103800	87060
88	410.16	387	15.262	2.41	2.33	109140	91620
90	419.70	396	15.617	2.46	2.38	114600	96300
92	429.24	405	15.972	2.51	2.43	120200	101100
94	438.78	414	16.327	2.56	2.48	125940	106020
96	448.32	423	16.682	2.61	2.53	131800	111060
98	457.86	432	17.037	2.66	2.58	137800	116220
100	467.40	441	17.392	2.71	2.63	143900	121500
102	476.94	450	17.747	2.76	2.68	150100	126900
104	486.48	459	18.102	2.81	2.73	156400	132420
106	496.02	468	18.457	2.86	2.78	162900	138060
108	505.56	477	18.812	2.91	2.83	169500	143820
110	515.10	486	19.167	2.96	2.88	176200	149700
112	524.64	495	19.522	3.01	2.93	183000	155700
114	534.18	504	19.877	3.06	2.98	189900	161820
116	543.72	513	20.232	3.11	3.03	196900	168060
118	553.26	522	20.587	3.16	3.08	204000	174420
120	562.80	531	20.942	3.21	3.13	211200	180900
122	572.34	540	21.297	3.26	3.18	218500	187500
124	581.88	549	21.652	3.31	3.23	225900	194220
126	591.42	558	22.007	3.36	3.28	233400	201060
128	600.96	567	22.362	3.41	3.33	241000	208020
130	610.50	576	22.717	3.46	3.38	248700	215100
132	620.04	585	23.072	3.51	3.43	256500	222300
134	629.58	594	23.427	3.56	3.48	264400	229620
136	639.12	603	23.782	3.61	3.53	272400	237060
138	648.66	612	24.137	3.66	3.58	280500	244620
140	658.20	621	24.492	3.71	3.63	288700	252300
142	667.74	630	24.847	3.76	3.68	297000	260100
144	677.28	639	25.202	3.81	3.73	305400	268020
146	686.82	648	25.557	3.86	3.78	313900	276060
148	696.36	657	25.912	3.91	3.83	322500	284220
150	705.90	666	26.267	3.96	3.88	331200	292500
152	715.44	675	26.622	4.01	3.93	340000	300900
154	724.98	684	26.977	4.06	3.98	348900	309420
156	734.52	693	27.332	4.11	4.03	357900	318060
158	744.06	702	27.687	4.16	4.08	367000	326820
160	753.60	711	28.042	4.21	4.13	376200	335700
162	763.14	720	28.397	4.26	4.18	385500	344700
164	772.68	729	28.752	4.31	4.23	394900	353820
166	782.22	738	29.107	4.36	4.28	404400	363060
168	791.76	747	29.462	4.41	4.33	414000	372420
170	801.30	756	29.817	4.46	4.38	423700	381900
172	810.84	765	30.172	4.51	4.43	433500	391500
174	820.38	774	30.527	4.56	4.48	443400	401220
176	829.92	783	30.882	4.61	4.53	453400	411060
178	839.46	792	31.237	4.66	4.58	463500	421020
180	849.00	801	31.592	4.71	4.63	473600	431100
182	858.54	810	31.947	4.76	4.68	483800	441300
184	868.08	819	32.302	4.81	4.73	494100	451620
186	877.62	828	32.657	4.86	4.78	504500	462060
188	887.16	837	33.012	4.91	4.83	515000	472620
190	896.70	846	33.367	4.96	4.88	525600	483300
192	906.24	855	33.722	5.01	4.93	536300	494100
194	915.78	864	34.077	5.06	4.98	547100	505020
196	925.32	873	34.432	5.11	5.03	558000	516060
198	934.86	882	34.787	5.16	5.08	569000	527220
200	944.40	891	35.142	5.21	5.13	580100	538500
202	953.94	900	35.497	5.26	5.18	591300	549900
204	963.48	909	35.852	5.31	5.23	602600	561420
206	973.02	918	36.207	5.36	5.28	614000	573060
208	982.56	927	36.562	5.41	5.33	625500	584820
210	992.10	936	36.917	5.46	5.38	637100	596700
212	1001.64	945	37.272	5.51	5.43	648800	608700
214	1011.18	954	37.627	5.56	5.48	660600	620820
216	1020.72	963	37.982	5.61	5.53	672500	633060
218	1030.26	972	38.337	5.66	5.58	684500	645420
220	1039.80	981	38.692	5.71	5.63	696600	657900
222	1049.34	990	39.047	5.76	5.68	708800	670500
224	1058.88	999	39.402	5.81	5.73	721100	683220
226	1068.42	1008	39.757	5.86	5.78	733500	696060
228	1077.96	1017	40.112	5.91	5.83	746000	709020
230	1087.50	1026	40.467	5.96	5.88	758600	722100
232	1097.04	1035	40.822	6.01	5.93	771300	735300
234	1106.58	1044	41.177	6.06	5.98	784100	748620
236	1116.12	1053	41.532	6.11	6.03	797000	762060
238	1125.66	1062	41.887	6.16	6.08	810000	775620
240	1135.20	1071	42.242	6.21	6.13	823100	789300
242	1144.74	1080	42.597	6.26	6.18	836300	803100
244	1154.28	1089	42.952	6.31	6.23	849600	817020
246	1163.82	1098	43.307	6.36	6.28	863000	831060
248	1173.36	1107	43.662	6.41	6.33	876500	845220
250	1182.90	1116	44.017	6.46	6.38	890100	859500
252	1192.44	1125	44.372	6.51	6.43	903800	873900
254	1201.98	1134	44.727	6.56	6.48	917600	888420
256	1211.52	1143	45.082	6.61	6.53	931500	903060
258	1221.06	1152	45.437	6.66	6.58	945500	917820
260	1230.60	1161	45.792	6.71	6.63	959600	932700
262	1240.14	1170	46.147	6.76	6.68	973800	947700
264	1249.68	1179	46.502	6.81	6.73	988000	962820
266	1259.22	1188	46.857	6.86			

Cadenas en forma de eslabón recto

Soldadas eléctricamente

Cadena ronzal para perro, de eslabón recto

Diametros de cadena mm.	2	2.5	3	4	5	6	8	10	13	15	20	25
Longitudes cm.												



Cadena ronzal para cabras, de eslabón recto

Diametros de cadena mm.	3	4	5	6	8	10	13	15	20	25
Longitudes cm.										



Cadena para bueyes, de eslabón recto

Diametros de cadena mm.	4	5	6	7	8	10	13	15	20	25
Longitudes cm.										

Otras cadenas en formas: ramallos, cadenas holandesas.



Accesorios para cadena en forma



Anillo redonda	1	2	3
d - cadena	3-4	4-5	7-8



Rotario forjado sin anillo o con anillo	1	2	3	4	5	6	7	8
d	4	5	6	7	8	10	13	15

Cadenas de acero inoxidable AISI-316



Empleo principal
 Industria de alimentación, cármica y conservera, industria química, textil, papelería, enológica, naval, etc. Aspectos relativos al suministro de la Cadena Acabado: Pulido. Envasado: En sacos o cajas de cartón. Opcionalmente en Bobinas Metálicas, de 10, 6, 20 Kg. Unidad de pedido: Cadenas de diámetro 2 a 4 mm. en fracciones de 50 m. Cadenas de diámetro 5 a 10 mm. en fracciones de 25 m.

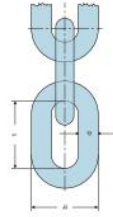
- Aspectos relativos al suministro de la cadena**
- **Acabado:** Pulido.
 - **Envasado:** En sacos o cajas de cartón. Opcionalmente en Bobinas Metálicas, de 10 o 20 Kg.
 - **Unidad de pedido:** Cadenas de diámetro 2 a 4 mm. en fracciones de 50 m. Cadenas de diámetro 5 a 10 mm. en fracciones de 25 m.

Control final
 Cada eslabón de cadena inoxidable AISI-316 fabricado por Amenabar está probado con una fuerza del 50 % de la carga de rotura e inspeccionado unitariamente, garantizando una calidad constante.

Rotura
 Cada lote de fabricación es aceptado tras el resultado satisfactorio de probar una muestra cualquiera hasta su destrucción. Sellado: La cadena de acero inoxidable es sellada con nuestro sello AME cada 11 eslabones, indicándose también el número de lote.

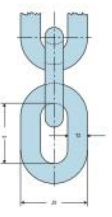
Cadena de eslabón semi-largo Grado-43

Diametro d	Peso t	Ancho Exterior	Peso. Kg./m.	Coef. seg. cre. trab.	Carga de prueba	Carga de rotura
2	5.64	12	0.472	0.275	0.09	54
3	10.18	17	0.689	0.41	0.135	270
4	15.28	21	1.030	0.57	0.200	500
5	21.16	27	1.440	0.80	0.280	800
6	27.82	34	2.000	1.10	0.400	1,200
8	45.44	44	3.700	1.50	0.600	2,000
10	68.35	54	5.600	2.00	0.800	3,000



Cadena DIN-5684 Grado-50

Diametro d	Peso t	Ancho Exterior	Peso. Kg./m.	Coef. seg. cre. trab.	Carga de prueba	Carga de rotura
5	3.16	15	0.581	0.54	0.180	350
6	4.72	19	0.858	0.76	0.260	500
7	6.44	24	1.190	1.00	0.360	700
8	9.16	29	1.600	1.30	0.500	1,000
10	13.8	38	2.300	1.80	0.700	1,500



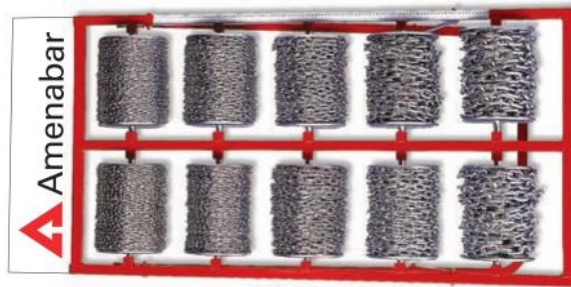
Tiene menor carga de trabajo, y menor resistencia a la torsión y a nudos, que la cadena DIN-5684. Pero gracias a un menor número de eslabones por metro presenta una sustancial reducción de peso por metro y menor precio.

Cadena comercial zincada en bobinas

Diámetros		Peso	Ángulo	Peso	Coeficiente de elongación		Bobinas comerciales aproximadas	
mm	inches	mm	mm	Kg/m.	4:1 Kg.	8:1 Kg.	Nº.	m.
2,5	3/16	16	10	0,12	-	-	20	152
3	3/8	19	12	0,17	-	-	20	125
4	5/16	22	15	0,30	185	150	25	84
5	3/8	27	18	0,45	240	200	25	68
6	7/16	32	21	0,70	400	320	25	56
7	1/2	38	25	0,97	575	460	25	48
8	5/8	42	28	1,26	750	600	25	40
10	3/4	51	34	1,92	1175	940	25	32



La forma más cómoda de exponer las cadenas



Miembro adherido al CNE de la FEDERACIÓN EUROPEA DE PRODUCTORES DE CADENAS DE ALACRILATO del Ministerio del Comercio, Industria e Innovación y Transporte de AZULEN.

Nota: Amenabar se reserva el derecho de modificar cualquier aspecto del contenido de esta cartilla, sin previo aviso.



Anexo N° 3: Costo de trabajos de cambio de forros molino Fuller.



PRESUPUESTO

CONTRATISTA : SERVICIOS PERUANOS DEL SUR S.R.LTDA.
 SERVICIO : **CAMBIO DE FORROS DEL CILINDRO Y TAPAS DE ALIMENTACION Y DESCARGA DEL MOLINO FULLER EN CONCENTRADORA TOQ.**

ÁREA : Toquepala
 FECHA : Friday, February 27, 2015
 MES INDICE BASE : febrero-2015
 PLAZO DE EJECUCIÓN : **72** HORAS

01.00 ESTRUCTURA DE COSTO DE MANO DE OBRA (sin IGV)

DESCRIPCIÓN	NRO TRAB	HRS NOR	HRS			COSTO UNITARIO H.M.E.E.			COST UNIT H. N.	COSTO S/ IGV
			25%	35%	100%	25%	35%	100%		
SUPERVISOR OPERATIVO	2	24	0	0	9	34.51	37.27	55.21	27.61	3,318.17
SUPERVISOR DE SEGURIDAD	2	24	0	0	0	34.51	37.27	55.21	27.61	3,207.75
SOLDADOR	4	24	0	0	9	21.80	23.55	34.85	17.44	4,192.88
MECANICO	24	24	0	0	9	20.63	22.28	33.01	16.50	23,805.01
TOTAL COSTO POR MANO DE OBRA	32									34,523.80

02.00 UNIFORMES E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD

ITEM	UNIFORME / IMPLMET DE SEGURIDAD	PLAZO EJEC	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL (S/.)
02.01	UNIFORMES E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	72.00	105.28	7,580.08
TOTAL COSTO UNIFORMES				7,580.08

03.00 VEHÍCULOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLAZO EJEC	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL (S/.)
03.01	VEHÍCULOS	6.00	223.15	1,338.92
TOTAL COSTO VEHICULO				1,338.92

04.00 MOVILIDAD Y VARIOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLAZO EJEC	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL (S/.)
04.01	MOVILIDAD DEL PERSONAL	6.00	732.80	4,396.80
04.02	ALIMENTACION	6.00	864.00	5,184.00
04.03	EXAMENES MEDICOS	1.00	1,700.00	1,700.00
TOTAL COSTO MOVILIDAD Y VARIOS				11,280.80

05.00 HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLAZO EJEC	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL (S/.)
05.01	HERRAMIENTAS	72.00	19.25	1,396.00
05.02	EQUIPOS	72.00	187.69	13,513.85
TOTAL COSTO EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				14,899.85

06.00 MATERIALES E INSUMOS PARA EL TRABAJO

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL (S/.)
06.01	MATERIALES E INSUMOS PARA EL TRABAJO	0.00	260.00
TOTAL COSTO INSUMOS PARA EL TRABAJO			260.00

RESUMEN

DESCRIPCIÓN	PRECIO (S/.)
MANO DE OBRA	34,523.80
UNIFORMES E IMPLEMENTOS DE SEGURIDAD	7,580.08
VEHÍCULOS	1,338.92
MOVILIDAD DEL PERSONAL	4,396.80
ALIMENTACION	5,184.00
EXAMENES MEDICOS	1,700.00
HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	14,899.85
ALOJAMIENTO	1,800.00
INSUMOS	260.00

SUB TOTAL COSTOS	71,683.44
GASTOS GENERALES Y UTILIDAD %	19%
TOTAL COSTOS SIN IGV	S/ 85,303.29
IGV	18%
TOTAL GENERAL SERVICIO	100,657.88
VIGENCIA DE LA PROPUESTA	30 DIAS

- NOTA:
- 1.- SEPERSUR CONSIDERA 72 HORAS POR EL USO INTERMITENTE DE LA GRUA PUENTE DE 10 HORAS.
 - 2.- INSUMOS SPCC (PERNOS, TUERCAS, GOMAS, FORROS, ACCESORIOS IZAJE DE FORROS, ESLINGAS, OXIGENO, ACETILENO.
 - 3.- EQUIPOS SPCC (GRUA PUENTE, MONTACARGA, VOLQUETE CON OPERADOR DISPONIBILIDAD DEL 100%)
 - 4.- OPERADORES DE GRUA PUENTE 24 HORAS.
 - 5.- EN LA FECHA SE DISPONE PERSONAL HABILITADO EN TOTAL 80%.

Fuente: Empresa contratista SEPERSUR SRL