

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**OPTIMIZACION DEL REVESTIMIENTO DE MOLINOS DE
MINERIA**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRONICO**

**PRESENTADO POR:
JUAN CARLOS BERRIOS MOLINA**

PROMOCION 2008-I

**LIMA-PERU
2012**

OPTIMIZACION DEL REVESTIMIENTO DE MOLINOS DE MINERIA**INDICE**

PROLOGO	1
CAPITULO I	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Alcances	4
1.4. Limitaciones	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Descripción de las áreas de una planta concentradora	6
2.1.1. Área de chancado	8
2.1.2. Área de molienda	9
2.1.3. Área de flotación	10
2.1.4. Área de espesadores y filtrado	12
2.2. Molinos	14
2.2.1. Partes principales del molino de bolas	15
2.2.2. Tipos de molinos	20

2.2.2.1. Molino de barras	20
2.2.2.2. Molino de bolas	21
2.2.2.3. Molinos autógenos y semi autógenos	22
2.3. Molienda	26
2.3.1. Descripción del material a triturar	26
2.3.1.1 Tamaño de partículas	27
2.3.1.2 Granulometría	28
2.3.1.3 Tamices de laboratorio	28
2.3.1.4 Análisis granulométrico	29
2.3.1.5 Ley mineral	31
2.3.2. Conceptos de conminución.	31
2.3.2.1 Mecanismos de conminución	32
2.3.2.2 Relaciones energía – tamaño de partícula	34
2.3.3. Variables de control de la molienda	35
2.3.3.1 La velocidad crítica	35
2.3.3.2 Relaciones entre los elementos variables	38
2.3.3.3 Tamaño máximo de los elementos moledores	42
2.3.3.4 Volumen de carga	42
2.3.3.5 Potencia	43
2.3.3.6 Tipos de molienda: molienda húmeda y molienda seca	43
2.4. Caucho	44
2.4.1. Tipos de caucho	44
2.4.2. Caucho: natural vs sintético	45
2.4.3. Procesamiento del caucho	46
2.4.4. Vulcanización	47
2.4.5. Propiedades físicas de los materiales vulcanizados	51

2.4.6. Cauchos o polímeros más usados	54
CAPITULO III	55
ESTADO ACTUAL DEL REVESTIMIENTO DE MOLINOS CON ACERO (IDENTIFICACION DEL PROBLEMA)	
3.1. Planteamiento del problema.	55
CAPITULO IV	60
OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS REVESTIMIENTOS (SOLUCIÓN DE REVESTIMIENTOS PARA MOLIENDA-REVESTIMIENTO DE CAUCHO)	
4.1. Beneficios de los revestimientos de caucho y combinaciones de caucho acero	
4.1.1. Menor peso	60
4.1.2. Menor costo de instalación	60
4.1.3. Eficiencia operacional	61
4.1.4. Menor necesidad de mantenimiento	61
4.1.5. Salud y seguridad	61
4.1.6. Menor costo de operación	61
4.2. Diseño de revestimientos para molino	63
4.2.1. Componentes de caucho para revestimiento de molinos	66
4.2.2. Estandarización de lifter para revestimiento del cilindro	67
4.2.3. Estandarización de los elementos de fijación	68
4.3. Caso 1: Rendimiento del revestimiento Molino de Bolas Marcy 12.5'x13'	
Con respecto a la producción anual.	69

4.3.1. Antecedentes	69
4.3.2. Condiciones de operación anterior del molino	69
4.3.3. Calculo del peso del revestimiento de acero Cr-Mo y Caucho-acero.	71
4.3.4. Análisis de los perfiles de los elevadores	77
4.3.5. Estimación de tiempo de duración y comparación del costo del producto consumido	83
4.3.6. Resultados de la comparación en tiempo de duración y Producción	84
4.4. Caso 2: Diseño del revestimiento de caucho-acero para Molino de Bolas Ø 13'X17'	85
4.4.1. Datos de las condiciones de operación para la simulación	85
4.4.2. Simulación de condiciones de operación 1 en software BTP	86
4.4.3. Simulación de condiciones de operación 1 en software 2D DEM	87
4.4.4. Resultados de las simulaciones	89
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	92

ANEXOS	93
Anexo 1: Procedimiento general para detener y poner en marcha el proceso de molienda de molino SAG.	94
Anexo 2: Procedimiento de control del proceso de molienda.	95
Anexo 3: Recomendaciones para la seguridad de personal y protección Ambiental.	96
Anexo 4: Procedimiento y tabla de torque recomendados para elementos de sujeción de revestimientos de caucho	97
Anexo 5: Especificación ASTM de hierro fundido blanco	100
Anexo 6: Despiece del revestimiento del molino de bolas Marcy Ø12.5'x13'	102
Anexo 7: Despiece del revestimiento del molino de bolas Ø13'x17'	104
Anexo 8: Relación de Figuras, Tablas y Fórmulas	106

PROLOGO

La importancia del diseño del revestimiento interno de los molinos ha crecido particularmente debido a que los molinos han aumentado de tamaño y se busca garantizar el buen funcionamiento del molino en el procesamiento de mineral.

El revestimiento protege al molino, controla la carga del molino, y en la medida que realice su función de manera eficiente, sus resultados se verán reflejados en los costos totales de las compañías procesadoras de mineral y operadoras de Plantas concentradoras.

El presente trabajo demuestra cómo mientras mayor sea la dureza del material que alimenta un molino, mayor será el ahorro de recursos cuando se opta por la utilización de revestimientos de caucho a los de acero.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Generalmente en el Perú para los molinos primarios (SAG o AG) o para los molinos secundarios (molinos de bolas, molinos de remolienda) se han usado los forros de acero Cr-Mo, en el cilindro y las tapas de éstos, pero desde 1969, la empresa peruana TECNOREMA SA que representaba a la trasnacional SKEGA, ha introducido forros de caucho para el sector minero.

El nuevo material se probó en un molino de 8'x10' que pertenecía a la Minera CONDESTABLE, y que dio buenos resultados, luego también se ofreció a otras mineras, pero en ese tiempo era difícil de creer que un revestimiento de caucho podría reemplazar un revestimiento de acero, entonces la introducción de este material fue lento hasta que en 1972, por vínculos de amistad entre Gerente General de la empresa TECNOREMA SA y Superintendente General de mantenimiento de Plantas concentradoras de CENTROMIN, se decidió probar en un molino de bolas 7x7' de la unidad de PARAGSHA, el cual dio los resultados esperados; la misma eficiencia que el acero en tiempo y producción pero con la ventaja que las nuevas piezas tenían un peso inferior

que hacía más eficiente el proceso de recambio de las piezas una vez desgastadas, ya que el peso en caucho representa la cuarta parte del peso en acero. Esto dio lugar a que se resolviera cambiar todos los revestimientos de todas las unidades operativas de CENTROMIN con este nuevo diseño.

Los beneficios más importantes son el menor costo en el transporte del material, menor consumo de energía eléctrica, menor tiempo de instalación de los revestimientos, y en las áreas de molienda secundaria mayor durabilidad de estos.

Luego la alta diversificación de los molinos y el aumento de tamaño de éstos por el aumento del volumen de producción, en 1976 se combinaron los materiales de caucho y acero dando lugar a revestimientos combinados, los cuales son usados en molinos primarios SAG.

Por lo tanto el objetivo de este informe es analizar los beneficios de este material y sus aplicaciones actuales en el revestimiento de molinos para la minería, denominados también forros o chaquetas de molino.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Optimizar el uso de los revestimientos para molinos de minería el cual se manifiesta como mayor carga procesada.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Minimizar el peso del molino.
- Aumentar el tiempo de uso de los revestimientos.
- Minimizar el tiempo de instalación en el reemplazo de los revestimientos de los molinos el cual trae menor pérdida de producción por tiempo de parada.
- Minimizar el ruido protegiendo la salud auditiva de los trabajadores.

1.3. ALCANCES

En este informe trataremos las ventajas del material de caucho en los revestimientos de los molinos en la minería, y los distintos diseños en las diferentes etapas de molienda a partir de mi experiencia en la empresa METSO PERU S.A.

Para la determinación de los diseños de los perfiles en los cilindros se utiliza software (BTP) y 2D DEM, que son propiedad de METSO PERÚ S.A. el cual se alimenta con datos proporcionados por la Compañía Minera y los datos geométricos de su molino. Los beneficios son enfocados en el tiempo de uso, menor tiempo de instalación, mayor carga procesada, y menor peso de transporte de los revestimientos.

1.4. LIMITACIONES

En este informe vamos a analizar el material y el diseño de los revestimientos de los molinos para optimizar el peso y el comportamiento interno del molino que se manifiesta como aumentó de la carga procesada, pero como es un tema muy extenso no se va a tocar la fabricación de los revestimientos además no es necesario para la justificación del siguiente trabajo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE UNA PLANTA CONCENTRADORA.

Actualmente la mayoría de Plantas recuperadoras de mineral en el Perú son polimetálicas, obteniéndose en la mayoría plomo, cobre, zinc, etc. También encontramos las Plantas recuperadoras de oro y plata como Yanacocha que recuperan por el método de lixiviación en pad o lixiviación con agitadores, con respecto a las polimetálicas estas tienen cuatro áreas de procesamiento (Fig. 2.1) bien definidas, que son:

2.1.1 Área de chancado.

2.1.2 Área de molienda.

2.1.3 Área de flotación.

2.1.4 Área de espesadores y filtrado.

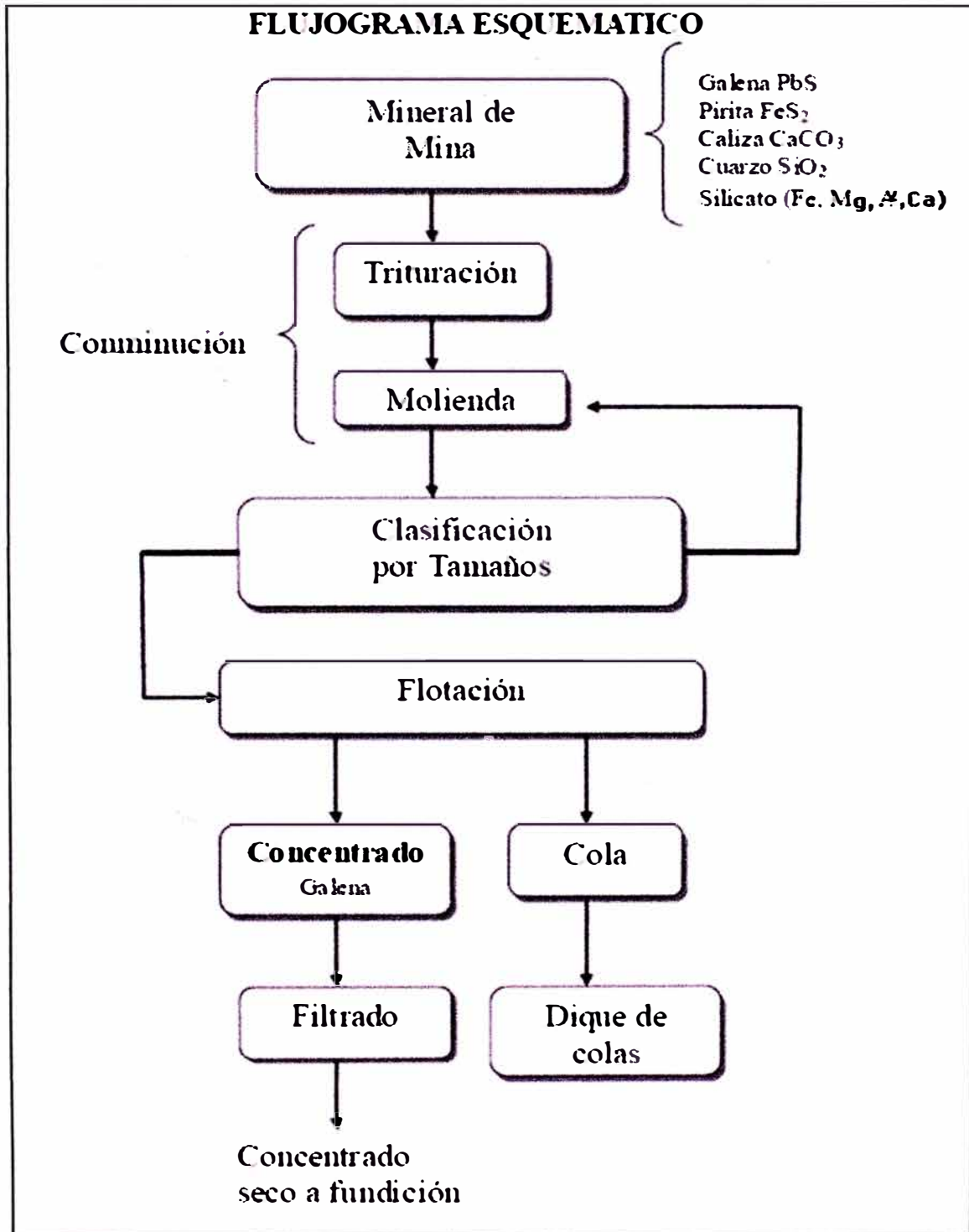


Fig. 2.1: Flujograma de tratamiento para la concentración de minerales

2.1.1. ÁREA DE CHANCADO O TRITURACIÓN

La operación de trituración, es la primera etapa mecánica de la conminución. Por lo general se realiza en seco y en etapas sucesivas. Industrialmente se utilizan diferentes tipos de máquinas de trituración y suelen clasificarse de acuerdo a la etapa en que se utilizan y el tamaño de material tratado.

a) **TRITURADORAS PRIMARIAS:** Fragmentan trozos grandes hasta un producto de 8" a 6". Se tienen dos tipos de máquinas:

- Trituradoras de Mandíbulas
- Trituradoras Giratorias.

b) **TRITURADORAS SECUNDARIAS:** Fragmentan el producto de la trituración primaria hasta tamaños de 3" a 2", entre estas máquinas tenemos:

- Trituradoras Giratorias
- Trituradoras Cónicas.

c) **TRITURADORAS TERCIARIAS:** Fragmentan el producto de la trituración secundaria hasta tamaños de 1/2" o 3/8", entre estas máquinas tenemos:

- Trituradoras Cónicas
- Trituradoras de Rodillos

2.1.2. ÁREA DE MOLIENDA

A diferencia de la trituración, la molienda por lo general se realiza cuando el material está en una pulpa con agua. La molienda es la reducción de tamaño de las partículas relativamente gruesas dejadas por la trituración. Esta reducción debe realizarse al tamaño óptimo para el proceso de concentración, lo que involucra aspectos técnicos y económicos. Industrialmente se utilizan diferentes tipos de molinos.

El material triturado sale por la parte inferior de la tolva a través de una compuerta regulable, cae sobre una faja transportadora, registrando su peso en una balanza *weightometer*. Este mineral alimenta al molino de bolas 8' x 8' donde será reducido al tamaño adecuado para la flotación, es decir 60 a 80 % de menos, de malla 200.

Esta molienda se hace con bolas de acero de 4 - 3 y 2 pulgadas de diámetro y peso controlado. La molienda se hace con ayuda de aguay auxilio de los primeros reactivos de flotación. La cantidad de agua llega a un 50 % del peso alimentado. La molienda se efectúa por acción de las bolas de acero, se forma una pulpa fluida que se descarga por la boca de salida y pasa por cedazo o Trommel con malla de 1/4" que se encarga de separar aquellos tamaños que no alcanzaron el tamaño deseado. Esta pulpa llega a un cajón que trabaja con una bomba de arenas de 5" x 4" que alimenta a un clasificador conformado por un nido de ciclones. Este aparato empleando la centrifugación clasifica el material procesado en dos tamaños; los que alcanzan 50 a 60 % de menos de malla 200, denominado Overflow, entran a la flotación; los que no alcanzan esta malla, salen por el Underflow para ser devueltos a la molienda. El Underflow con tamaños cercanos a 1/8", serán remolidos por el mismo molino para alcanzar el tamaño deseado. Hasta aquí la operación de reducción de tamaño o molienda.

2.1.3. ÁREA DE FLOTACIÓN

La flotación es hoy el método más importante de concentración mecánica. Patentado en 1906, ha permitido la explotación de yacimientos complejos y de bajo contenido, los cuales habrían sido dejados como marginales sin la ayuda de la flotación.

En su forma más simple, es un proceso de gravedad modificado en el que el mineral metálico finamente triturado se mezcla con un líquido. El metal o compuesto metálico suele flotar, mientras que la ganga se va al fondo. En algunos casos ocurre lo contrario. En la mayoría de los procesos de flotación modernos se emplean aceites u otros agentes tenso-activos para ayudar a flotar al metal o a la ganga. Esto permite que floten en agua sustancias de cierto peso.

En cada uno de los procesos que utilizan este método se mezcla con agua un mineral finamente triturado que contiene sulfuro de cobre, al que se le añaden pequeñas cantidades de aceite, ácido y otros reactivos de flotación. Cuando se insufla aire en esta mezcla se forma una espuma en la superficie, que se mezcla con el sulfuro pero no con la ganga. Esta última se va al fondo, y el sulfuro se recoge de la espuma.

El proceso de flotación ha permitido explotar muchos depósitos minerales de baja concentración, e incluso residuos de Plantas de procesado que utilizan técnicas menos eficientes. En algunos casos, la llamada flotación diferencial permite concentrar mediante un único proceso, diversos compuestos metálicos a partir de un mineral complejo.

Los tipos de flotación en orden cronológico son:

a) FLOTACIÓN NO SELECTIVA DE ACEITE (BULK OIL FLOTATION)

Esta técnica desarrollada en 1860, consistía en mezclar la mena molida con aceite y posteriormente con agua, de tal manera que las partículas del mineral sulfuroso, por sus propiedades superficiales hidrófobas, quedaban retenidas en la fase aceitosa y aquellas partículas que se mojaban en el agua se quedaban en la fase acuosa, de modo que al final del proceso, flotaba una capa de aceite sobre la pulpa, la cual contenía las partículas de mineral sulfuroso que eran separados por decantación y se separaba del aceite por filtración.

b) FLOTACIÓN DE PELÍCULA (FILM OR SKIN FLOTATION)

En esta técnica, el mineral finamente molido era esparcido cuidadosamente sobre la superficie libre del agua, de modo que las partículas de sulfuro, que se caracterizan por tener propiedades hidrófobas, sobrenadaban en la superficie del agua, formando una delgada película que era removida por medio de algún mecanismo; en cambio la ganga se mojaba y sedimentaba en el fondo del recipiente de agua. Las dos técnicas anotadas anteriormente no tuvieron éxito en su aplicación en la industria por lo que en la actualidad ya no se las usa.

c) FLOTACIÓN DE ESPUMA

Con la flotación de espuma la separación se realiza gracias a la adhesión selectiva de partículas hidrófobas a pequeñas burbujas de gas (aire) que son inyectadas al interior de la pulpa. El conjunto partícula-burbuja asciende a la superficie formando una espuma mineralizada, la cual es removida por medio de paletas giratorias o simplemente por rebalse. Las propiedades superficiales de las partículas y las características del medio pueden ser reguladas con ayuda de reactivos.

d) FLOTACIÓN DE IONES

Con ayuda de reactivos de flotación se precipitan los iones y luego éstos son flotados como en el caso de la flotación de espuma.

2.1.4. ÁREA DE ESPESADORES Y FILTRADO

En esta área se busca desaguar, quitar la mayor cantidad de agua a lo recuperado en las celdas de flotación, esto es llevar el concentrado de 30% sólido a 92% sólido, esto se logra gracias a los tanques espesadores (Fig. 2.2), con floculantes o reactivos y a los filtros prensas (Fig. 2.3), luego el agua recuperada (licor filtrado), se usa en las celdas de flotación ya que aun tiene mineral rico.

Para este proceso tenemos diferentes tipos de filtros:

a) FILTROS DE VACÍO: la separación sólido-líquido tiene lugar gracias a la aspiración que imprime una bomba de vacío bajo la superficie donde reposa el producto. La forma de la superficie filtrante da nombre a los dos tipos de filtro:

Filtro de banda de vacío: la filtración tiene lugar sobre la tela de la unidad que a su vez se desplaza sobre la banda de goma o bandejas, según la ejecución

Filtro Rotativo de Vacío: la filtración se realiza sobre la superficie de un tambor rotativo. Se trata del clásico sistema desplazado en gran parte por los filtros de banda de vacío pero con aplicaciones específicas (Ver fig. 2.2)

b) FILTROS PRENSA: Es un separador de líquidos y sólidos a través de filtración por presión. Utiliza un método simple y confiable para lograr una alta compactación. Es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados. Tiene una capacidad que va desde 0.5 a 300 pies cúbicos. Se fabrica en acero al carbón con recubrimiento de pintura epóxica de alta resistencia química o acero inoxidable. Las placas filtrantes desmontables están hechas de polipropileno, y las mallas pueden ser de tipo sellada, no sellada o membranas de alta resistencia. Cuenta con un sistema hidráulico-neumático que puede ser automático o semiautomático.



Fig. 2.2: Espesador Denver

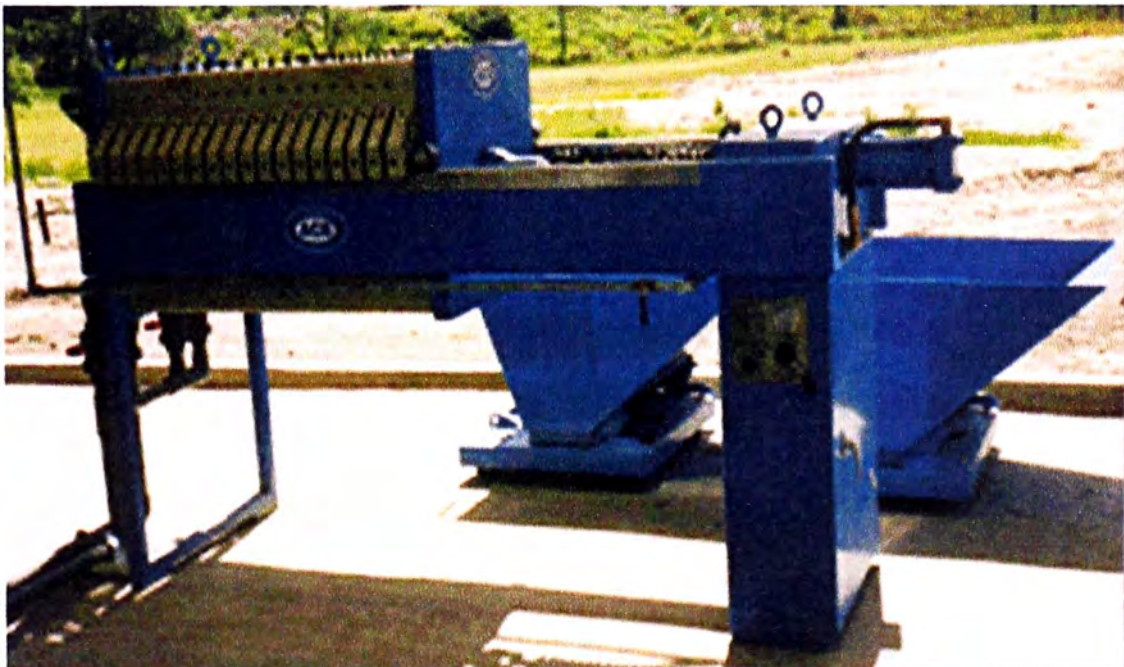


Fig. 2.3: Filtro Prensa Acs De 80 Ft³

2.2. MOLINOS

La molienda es la última etapa del proceso de conminución, en esta 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.

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 de mena.

En el proceso de molienda las partículas de 5 a 250 mm son reducidas en tamaño a 10 - 300 micrones, aproximadamente, dependiendo del tipo de operación que se realice.

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

Por supuesto, una submolienda de la mena 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. Sobré molienda innecesaria reduce el tamaño de partícula del constituyente mayoritario (generalmente la ganga) 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.

2.2.1. PARTES PRINCIPALES DEL MOLINO DE BOLAS

Las partes principales de un molino de bolas son las siguientes (Fig.2.4):

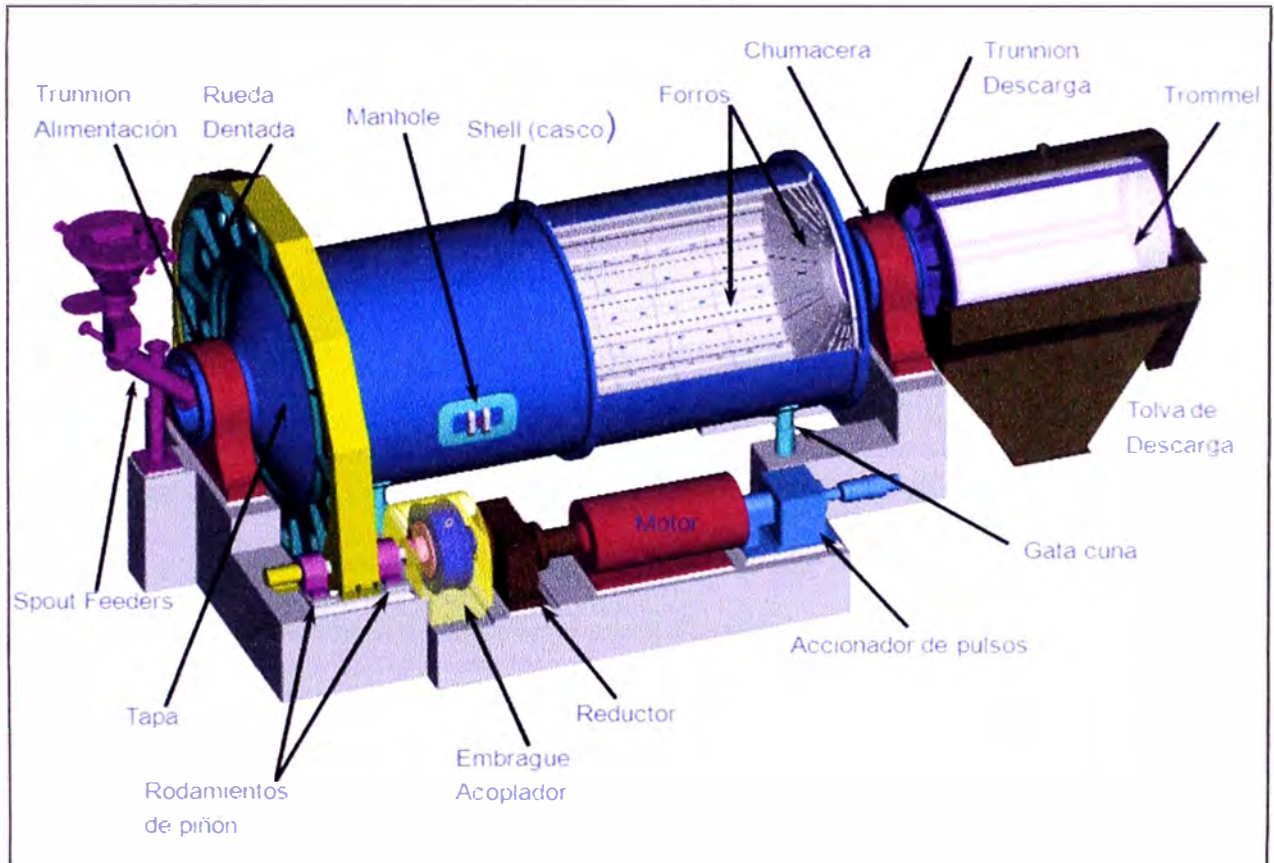


Fig. 2.4: Partes principales del Molino de Bolas

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 Rueda dentada: Son los engranajes que sirven como mecanismo de transmisión de movimiento. El motor del molino acciona un contra-eje al que esta

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 franjes 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 interna 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. Existen diferentes formas de placas de blindaje para aumentar el rendimiento del molino, la regularidad de la molienda, disminuir el desgaste, así como el consumo de energía por tonelaje producida. Los materiales empleados en la fabricación de los blindajes dependen esencialmente del tipo de material que se va a moler y a las condiciones en las que se va a moler.

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 (*Spoutfeeders*): es la conexión entre el chute de alimentación y el molino, por el cual se alimenta con carga fresca al 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 ingresen al clasificador o bombas.

j) Ventana de inspección (*Manhole*): Está instalada en el cuerpo del molino, tiene una dimensión suficiente como para permitir el ingreso de una persona, por ella ingresa el personal a efectuar cualquier reparación en el interior del molino. Sirve para cargar bolas nuevas (carga completa) así como para descargarlas para inspeccionar las condiciones en las que se encuentra las bolas y blindajes.

k) Rejillas de los molinos: En los molinos se instalan unas rejillas destinadas a retenerlos cuerpos trituradores y los trozos de mineral grueso, durante el traslado del mineral molido a los dispositivos de descarga.

Para dejar el mineral molido, el Trunnión de descarga está separado del espacio de trabajo por parrillas dispuestas radialmente con aberturas que se ensanchan hacia la salida. El mineral molido pasa por las parrillas, es recogido por las nervaduras, dispuestas radialmente y se vierte fuera del molino por el muñón Trunnión de

descarga. Las parrillas y las nervaduras se reemplazan fácilmente cuando se desgastan.

I) Cuerpos trituradores: Los cuerpos trituradores o bolas de acero (Fig. 2.5) 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.

En la fabricación de bolas intervienen una serie de aleaciones, siendo el material base el acero al carbono. A éste se le agrega Ni, Cr, Mo, V, con el objeto de aumentar alguna propiedad específica como puede ser dureza, permeabilidad, etc.

En el método de fabricación tenemos 2 tipos uno por fundición y otro por forja, siendo este último el método más utilizado por la alta dureza que proporciona. La determinación del tamaño adecuado de las bolas se hace de acuerdo a pruebas en planta porque éstas dependen mucho del material a moler y el producto a obtener.



Fig. 2.5: Bolas de acero de 4'' y 5''

m) Dispositivos de descarga:

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

El mineral, al salir del muñón de salida que es hueco, cae a través del tamiz. Las partículas grandes de los cuerpos extraños, los trozos de bolas gastadas y otros materiales por el tamiz.

En el sistema de descarga con rejilla, el mineral atraviesa la parilla 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 entra en la tolva de finos, los cuerpos extraños caen desde el tamiz y abandona el molino.

Otros componentes son: las chumaceras del contra eje, el contra eje, las poleas reductor de velocidad, el acoplamiento, el motor eléctrico.

2.2.2. TIPOS DE MOLINOS

2.2.2.1. MOLINO DE BARRAS

Este equipo tiene en su interior barras de acero que son los elementos de molienda. El molino de barras (fig.2.6) gira con el material proveniente del chancado, que llega continuamente por una faja transportadora.

Generalmente son empleados para molienda primaria, algo así como etapa intermedia entre chancado y molienda (por ejemplo: cuando la presencia de arcilla o panizo en el mineral dificulta el chancado fino). Se caracterizan por la razón largo/diámetro del cilindro mayor de 1,5:1. Por las limitaciones mecánicas en el largo de las barras, existen limitaciones en la dimensión y la capacidad de este tipo de molinos, que recientemente comienza a perder preferencia (aunque aún operan en numerosas Plantas de la sierra peruana). El material se va moliendo por la acción del movimiento de las barras que se encuentran libres y que caen sobre el mineral. El mineral molido continúa el proceso, pasando en línea al molino de bolas.

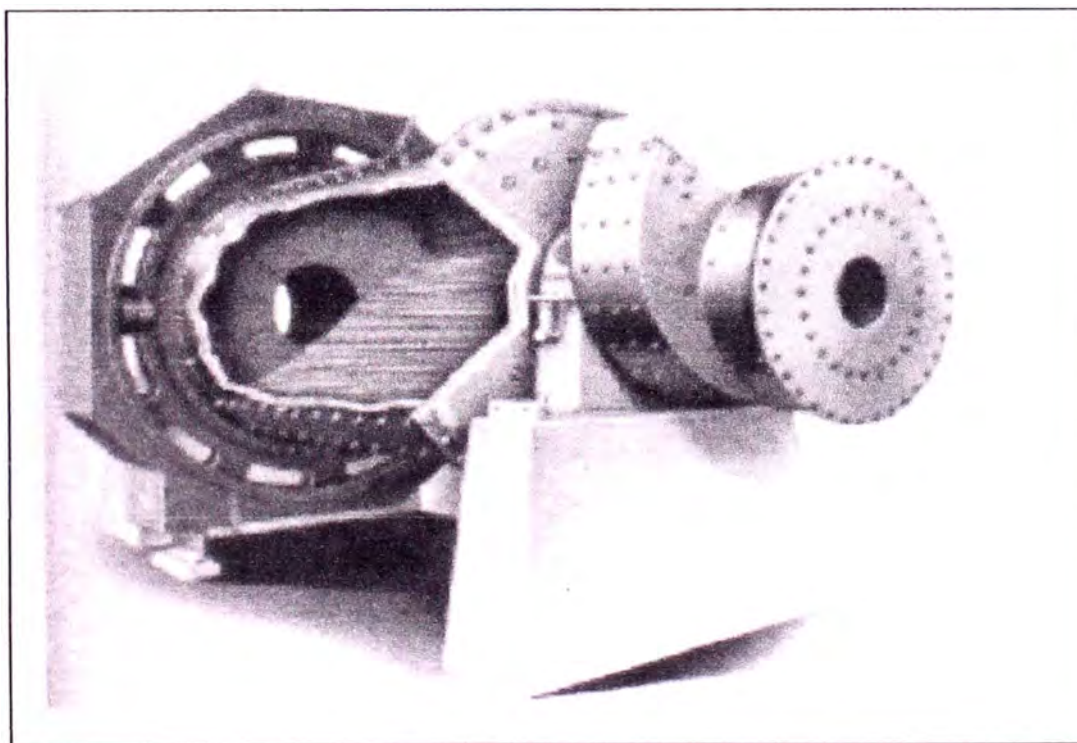


Fig. 2.6: Molino de barras

2.2.2.2. MOLINO DE BOLAS

Estos pueden ser utilizados como molinos de molienda primaria, secundaria y remolienda. Los molinos de bolas para molienda primaria (Fig. 2.7) son de forma cilíndrica y de gran tamaño y en su interior la carga moledora o bolas también son de gran diámetro, ocupan el 45% del volumen del molino y trabajan en circuito abierto. En el caso de molinos de bolas de molienda secundaria y de remolienda por lo general son de forma tubular, es decir, su diámetro es ligeramente menor que su largo y trabajan en circuito cerrado con clasificadores mecánicos (rastrillos, espirales) o Hidrociclones para maximizar su rendimiento y para evitar sobre molienda que es perjudicial para la concentración.

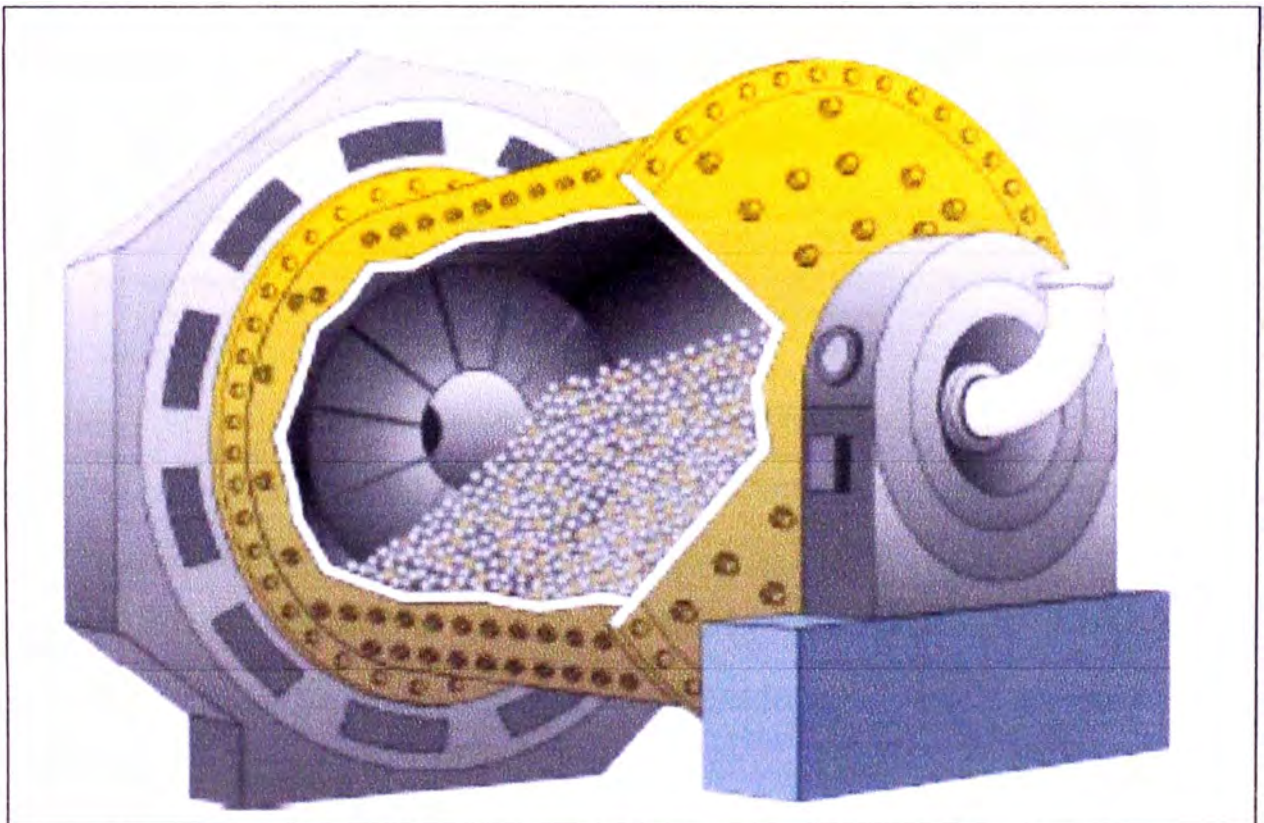


Fig. 2.7: Molino De bolas

2.2.2.3. MOLINOS AUTÓGENOS Y SEMI AUTÓGENOS

La molienda autógena puede definirse en forma general, como un método de reducción de tamaño en el cual los medios moledores están formados principalmente por trozos de la mena que se procesa. Si los pedazos de roca utilizados como medio moledor son trozos redondeados que han sido seleccionados en una etapa de molienda previa, entonces se hablan de una molienda por guijarros (o Pebbles). En algunos casos, se agregan bolas de acero para mejorar la acción de la carga, con la cual la molienda deja de ser autógena pura y pasa a convertirse en molienda semiautógena. Un molino semiautógeno o SAG (Fig. 2.8), es entonces, un molino rotatorio cuya carga es mineral proveniente en forma directa de la mina o que ha pasado por un chancado primario. La cantidad de bolas de acero agregadas para mejorar la acción moledora, representa entre un 4% y 15% del volumen total del molino. Estas bolas generalmente son de tamaño mayores a 3" de diámetro. Dado que las propias fracciones gruesas actúan como medio de molienda, la carga de alimentación debe contener una fracción gruesa con la superficie, calidad y competencia como medio de molienda (dureza) para impactar y friccionar las fracciones de menor granulometría de la carga, hasta reducir su tamaño. Los molinos autógenos y semiautógenos son molinos rotatorios que se caracterizan por su gran diámetro en comparación con el largo. El molino SAG no tiene engranajes (sistema *Gearless*) y es acondicionado por un motor con disipador térmico, enfriado con ventilador y con velocidad y frecuencias variables (motor de anillo). El rotor de este molino lo constituye el mismo molino y el estator, el anillo alrededor de la velocidad del molino SAG puede variar, permitiendo regular la acción de catarata (caída) en el molino y controlar el régimen de molienda (ver anexo 1). El molino SAG dispone también de un *Trommel* y un cañón de retorno que cierra el circuito de molienda (Ver Fig. 2.9).



Fig. 2.8: Molino SAG.

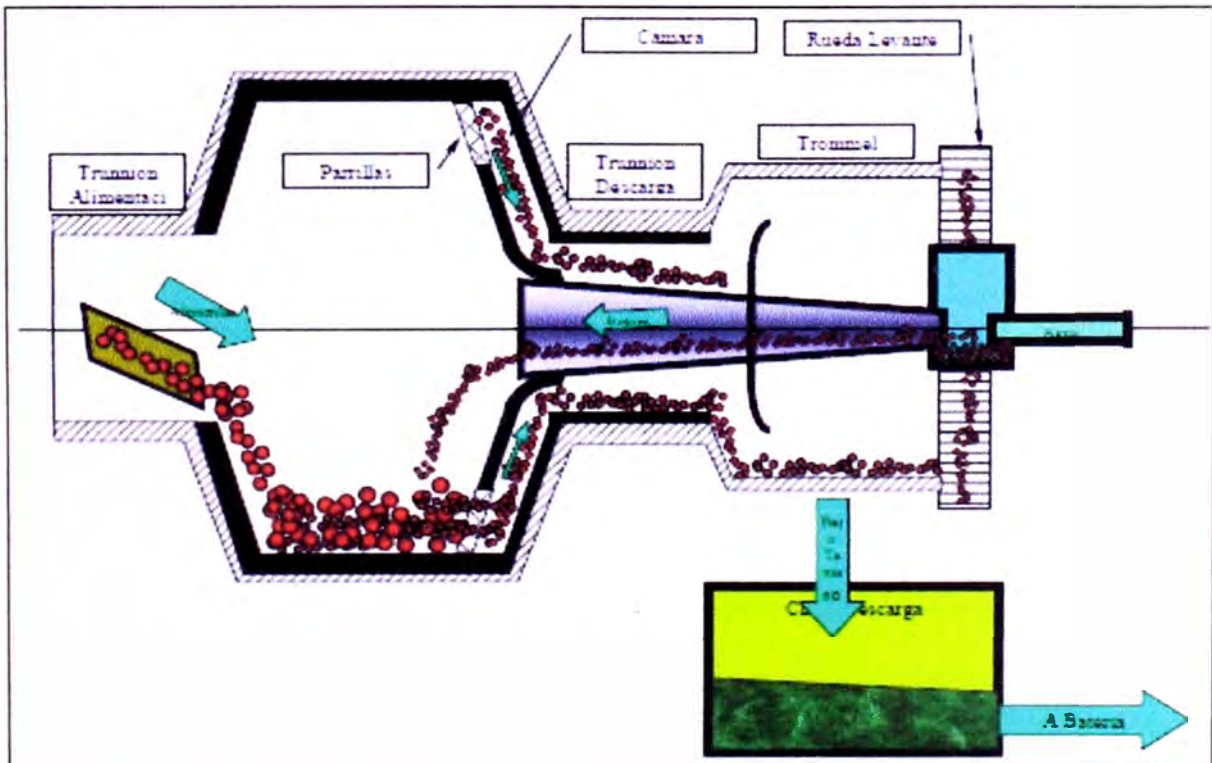


Fig. 2.9: Dirección del flujo en el Molino SAG.

2.2.2.3.1. VARIABLES QUE AFECTAN LA OPERACIÓN DE MOLINOS SAG.

La capacidad de procesamiento de molinos Semiautógenos (SAG) es afectada en gran medida por la geología de minerales y las variables de operación en el molino. Son clasificadas en 03 categorías: campo de quebrado, flujo a través de la parrilla y levantadores de pulpa, y movimiento de la carga.

a) CAMPO DE QUEBRADO:

El movimiento de la carga o rocas y bolas en los molinos SAG puede ser visto como un campo de quebrado generado como el resultado de las características de los levantadores y la velocidad de rotación del molino. El mineral alimentado es molido por este campo, y si es suficientemente molida la pulpa se descargará a través de las perforaciones en la parrilla. El campo de quebrado determina la masa contenida en el molino SAG.

FLUJO A TRAVÉS DE LA PARRILLA Y LOS LEVANTADORES DEPULPA:

La descarga de mineral fino a través de las numerosas perforaciones en la parrilla es probablemente entendida, no por alguna deficiencia de metodología física, sino que debido a lo impredecible de los eventos ocurridos en la vecindad de esta.

Bolas y Pebbles constantemente cubren numerosas aberturas la pulpa debe encontrar su camino alrededor de estas. A demás permanentemente pequeños Pebbles se alojan en estas perforaciones y aleatoriamente se zafan. Para liberar Pebbles de tamaño largo, usualmente se usa porta Pebbles que son ubicados en la parrilla. El efecto neto de este fenómeno es que la pulpa que fluye a través de la parrilla no puede ser estimada correctamente. La pulpa, después de pasar por la parrilla entra en los levantadores de pulpa y fluye hacia el Trommel.

b) MOVIMIENTO DE LA CARGA:

En un concentrador, todo el equipo auxiliar: bombas, correas, mallas e hidrociclones y los dos recursos primarios: acero y electricidad sirven primordialmente para mantener la acción de molienda en el molino SAG. En esta acción la que dé fin de la capacidad. Debido a esto, es entendible el control continuo de la acción de molienda y la toma de todos los pasos que son necesarios para mantener el campo de molienda asumiendo salto potencial. Lamentablemente, el ambiente de molienda dentro del molino es muy severo y ninguna instrumentación en línea desarrollada hasta hoy ha sobrevivido al impacto de grandes bolas de acero que golpean al interior del molino.

2.2.2.3.2. COMPARACIÓN ENTRE MOLIENDA SAG Y BOLAS

a) Ventajas técnicas de la molienda SAG

Menor número de etapas en el proceso, por la eliminación del chancado secundario y terciario de las operaciones anexas.

Menor consumo de acero de desgaste para revestimientos y medios de molienda en general.

Mayor capacidad específica en TPH por m² de terreno ocupado (ventaja importante en faenas de cordillera).

Mejor comportamiento operacional frente a minerales que presentan contenido de arcillas.

Mayor cinética de adecuación de parámetros de molienda frente a cambio de dureza.

Disminución en el requerimiento de recursos humanos.

b) Ventajas económicas de la molienda SAG

Menor inversión (costo de capital) total de la Planta.

El costo global de operación puede ser menor o al menos competitivo.

2.3. MOLIENDA

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos salidos de molienda son más pequeños y de forma más regular que los salidos de trituración.

Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland y en la concentración de minerales ferrosos y no ferrosos. En cada uno de estos casos, se procesan en el mundo, alrededor de 2.000 millones de toneladas por año.

También se utilizan en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas y alimentos balanceados, etc.

2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL A TRITURAR

Los minerales de mena se encuentran diseminados en la roca —madre que contiene minerales estériles y de ganga; y para proceder a su beneficio se necesita liberarlos de esta matriz de ganga que los ocluye. Lo anterior se logra mediante la operación de reducción de tamaño, denominada también conminución. Al romper las partículas de mineral se generan nuevas partículas, donde quedarán expuestas nuevas y mayores superficies de la mena a procesar. El tamaño a lograr dependerá del grado de diseminación de la especie mineral útil, de la naturaleza de la roca y de los requerimientos del proceso que se le aplicará. Existen varias etapas de reducción de tamaño. Estas se inician en la mina misma, cuando el mineral "in-situ", de un tamaño teórico infinito, se separa del cuerpo mineralizado por la acción de explosivos, entregando partículas hasta el orden de un metro, y prosiguen en las

Plantas de beneficio donde estas partículas son sometidas a procesos de trituración y de molienda.

2.3.1.1 TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Un sistema de partículas, con un amplio rango de tamaños, sólo se puede describir mediante el uso de funciones estadísticas. De estas distribuciones es posible derivar una estimación del tamaño, superficie y volumen promedio del sistema. La forma común de determinar las propiedades granulométricas de un sistema particulado, es someterlo a la acción de una serie de tamices en forma sucesiva. Cada tamiz utilizado tiene una malla con aberturas menores que el anterior, de esta manera el sistema de partículas queda atrapado en los tamices, correspondiendo a un tamiz en particular todas aquellas partículas con un tamaño menor que la malla del tamiz anterior y mayor que la malla del tamiz en cuestión. El tamaño de las partículas (Fig. 2.10) se asocia entonces a la abertura de la malla de los tamices. Se define como malla el número de aberturas que tiene un tamiz por pulgada lineal. Mientras mayor es el número de la malla menor es el tamaño de las aberturas.

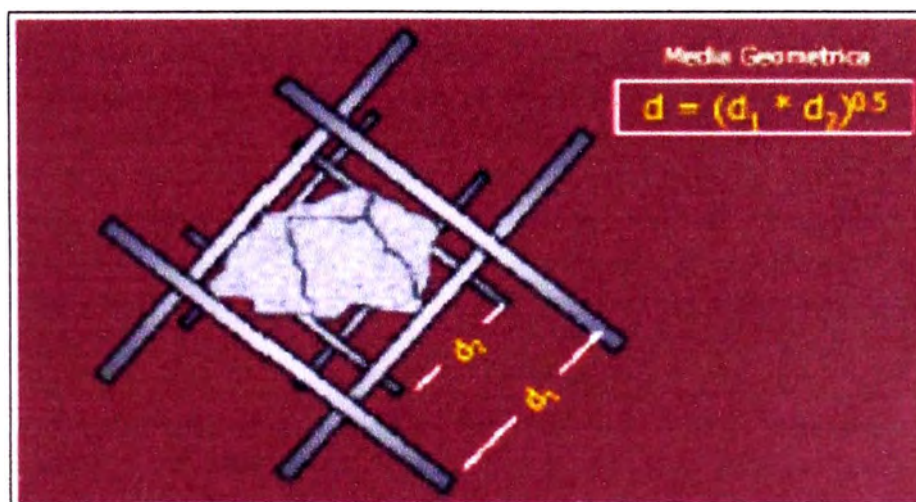


Fig. 2.10: Diámetro de tamaño de partícula

2.3.1.2 GRANULOMETRÍA

Es el conjunto de propiedades que caracterizan las dimensiones, proporciones y la Forma de las partículas, que constituyen un lote de sólidos dispersos. Cuando se logra una separación de las partículas, mediante un tamiz, expresando el resultado, según un rango de tamaños, factible de interpretar y utilizar, se está, en realidad, haciendo un análisis granulométrico.

2.3.1.3 TAMICES DE LABORATORIO

El tamizado se puede definir como la técnica de clasificar partículas de una muestra en términos de su capacidad o incapacidad que presentan para pasar a través de un orificio de dimensiones regulares. La técnica consiste en colocar la muestra de polvo en la parte superior de un juego de tamices, uno debajo del otro con una secuencia de reducción sucesiva del tamaño del orificio de la malla. El juego de tamices junto con la muestra se agita y las partículas con las dimensiones adecuadas pasaran a través de las diferentes mallas, reteniéndose sobre aquellas las partículas que no presenten la capacidad de atravesarlas. Es muy difundido el término **Mesh** para identificar la cantidad de orificios que existen en una pulgada lineal (25,4 mm).

Comúnmente se emplean tamices (Fig. 2.11) cuya base constituyen la malla 200 (74 micrones de abertura), y algunos sistemas son: Escala Tyler (Inglaterra), Escala ASTM (EEUU), Escala Internacional (ISO).



Fig. 2.11: Tamices de laboratorio

2.3.1.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.

Las operaciones de concentración de minerales, dependen en alto grado del tamaño o distribución de las partículas que intervienen en estas operaciones. Esto es igualmente válido para los procesos de hidro y piro metalurgia. La forma más usual de determinar los tamaños de un conjunto de partículas es mediante el análisis granulométrico por una serie de tamices. Por este procedimiento el tamaño de partícula se asocia al número de aberturas que tiene el tamiz por pulgada lineal. (Ver tabla 2.1). Por ejemplo, se especifica un rango de tamaños de partículas de los siguientes modos: Menos 65 mallas (-65 m): indica un material que pase a través de un tamiz que tiene 65 aberturas por pulgada lineal. Por lo que tendrá un tamaño menor a 210 micras que es la longitud de la abertura de la malla. Menos 10 mallas más 20 mallas (-10 m, +20 m), indica que el material pasa un tamiz con 10 aberturas por pulgada lineal y es retenido en un tamiz de 20 aberturas por pulgada lineal, es decir, que el material tendrá un tamaño menor a 1.68 micras (abertura de la malla 10) y mayor de 841 micras (abertura de la malla 20). Para realizar el

análisis de granulométrico, se debe disponer los cedazos en orden decreciente de abertura, y en el fondo la bandeja. La muestra se coloca sobre el primer cedazo, y luego se tapa. El conjunto llamado nido de cedazos, se zarandea en el Ro-Tap por el tiempo necesario (para arena, la norma ASTM indica 15 minutos).

Tabla 2.1: Tabla Serie de Tamices Estándares USA/ Tyler/ international

Tyler Standard ScreenScale			
Mesh (malla)	Micrones (μ)	Milimetro (mm)	Pulgadas (inch)
400	33	0.033	0.0012992
325	43	0.043	0.0016929
270	53	0.053	0.0020866
250	61	0.061	0.0024016
200	74	0.074	0.0029134
170	88	0.088	0.0034646
150	104	0.104	0.0040945
115	121	0.121	0.0047638
100	147	0.147	0.0057874
80	173	0.173	0.006811
65	208	0.208	0.008189
60	246	0.246	0.009685
48	295	0.295	0.0116142
42	351	0.351	0.0138189
35	417	0.417	0.0164173
32	495	0.495	0.0194882
28	589	0.589	0.023189
24	701	0.701	0.0275984
20	833	0.833	0.0327953
16	991	0.991	0.039016
14	1168	1.168	0.0459843
12	1397	1.397	0.055
10	1651	1.651	0.065
9	1981	1.981	0.0779921
8	2362	2.362	0.0929921
7	2794	2.794	0.11
6	3327	3.327	0.1309843
5	3962	3.962	0.1559843
4	4699	4.699	0.1838543
3.5	5613	5.613	0.2209843
3	6680	6.68	0.2629921
2.5	7925	7.925	0.3120079

2.3.1.5 LEY MINERAL

La concentración de cada metal de mena en una muestra de roca, usualmente expresado en porcentaje en peso (Ej. 1,2% Cu). Si las concentraciones son muy bajas, como las de Au, Ag, Pt y otros, la concentración puede expresarse como gramos por tonelada (g/t). Ley de cobre: es el porcentaje de cobre que encierra una determinada muestra. Cuando se habla de una ley del 1% significa que en cada 100 kilogramos de roca mineralizada hay 1 kilogramo de cobre puro.

2.3.2. CONCEPTOS DE CONMINUCIÓN.

Conminución es un término general utilizado para indicar la reducción de tamaño de un mineral y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado. Entre los equipos de reducción de tamaño se incluyen, entre otros, chancadoras (trituradoras), molinos rotatorios de varios tipos, molinos de impacto y molinos de rodillos.

Algunas máquinas de conminución efectúan la reducción de tamaños a través de compresión lenta, algunos a través de impactos de alta velocidad y otros principalmente a través de esfuerzos de corte o cizalle.

El rol de la conminución y de las operaciones unitarias relacionadas a ella es de gran importancia. Esto es especialmente cierto en términos de los costos de operación, ya que estos procesos unitarios representan la mayor fracción de los costos totales en el procesamiento de minerales.

Fred Bond, define la conminución como el proceso en el cual la energía cinética mecánica de una máquina u objeto es transferido a un material produciendo en él, fricciones internas y calor que originan su ruptura.

2.3.2.1 MECANISMOS DE CONMINUCIÓN

Los minerales poseen estructuras cristalinas y sus energías de unión se deben a los diferentes tipos de enlace que participan en la configuración de sus átomos. Estos enlaces interatómicos son efectivos sólo a corta distancia y pueden ser rotos por la aplicación de esfuerzos de tensión o compresión. Para desintegrar una partícula se necesita una energía menor que la predicha teóricamente, debido a que todos los materiales presentan fallas que pueden ser macroscópicas (grietas) o microscópicas. Se ha demostrado que estas fallas son sitios en que se concentran los esfuerzos aplicados. Las grietas se activan aumentando la concentración de esfuerzos, que causan su propagación, produciendo la desintegración de la partícula, los tipos de mecanismos de conminución (Fig. 2.12) son:

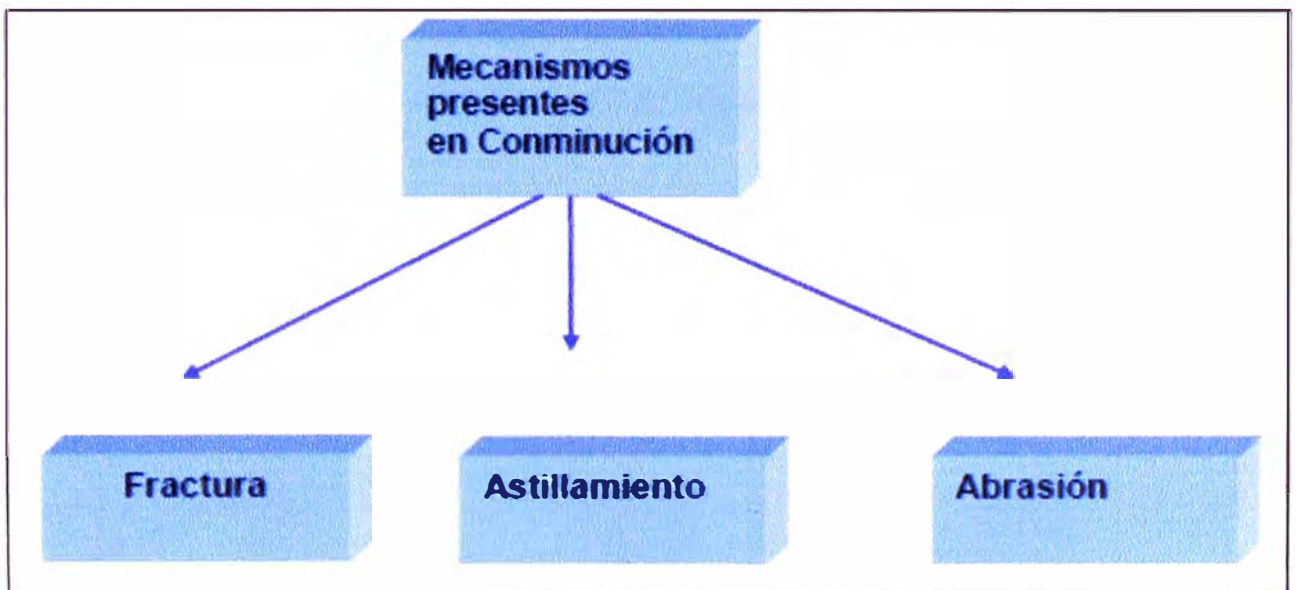


Fig.2.12: Mecanismos presentes en conminución

a) **Fractura.**

Es la fragmentación de un cuerpo sólido en varias partes, debido a un proceso de deformación no homogénea. Los métodos de aplicar fractura (Fig. 2.13) en un mineral son:

- **Compresión:** La aplicación de esfuerzos de compresión es lenta. Normalmente se produce en máquinas de chancado en que hay una superficie fija y otra móvil. Da origen a partículas finas y gruesas. La cantidad de material fino se puede disminuir reduciendo el área de contacto utilizando superficies corrugadas.
- **Impacto:** Es la aplicación de esfuerzos comprensivos a alta velocidad. De esta manera la partícula absorbe más energía que la necesaria para romperse. El producto, normalmente, es muy similar en forma y tamaño.
- **Cizalle:** El cizalle ocurre como un esfuerzo secundario al aplicar esfuerzos de compresión y de impacto. Produce gran cantidad de finos y, generalmente, no es deseable.

b) Astillamiento. La ruptura de esquicios y cantos de una partícula, ocurrida por la aplicación de esfuerzos fuera del centro de la partícula, genera el mecanismo de Astillamiento.

c) Abrasión. Cuando el esfuerzo de cizalle se concentra en la superficie de la partícula se produce abrasión.

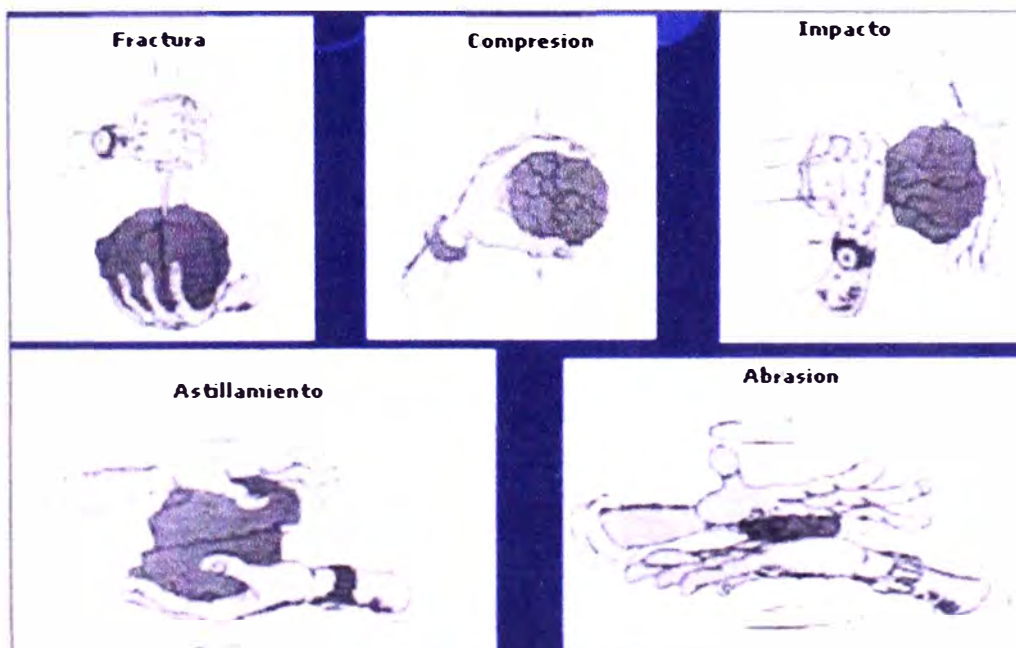


Fig. 2.13: Métodos de Fractura.

2.3.2.2 RELACIONES ENERGÍA – TAMAÑO DE PARTÍCULA

Desde los primeros años de aplicación industrial de los procesos de conminución al campo de beneficio de minerales, se pudo constatar la relevancia del consumo de energía específica como parámetro controlante de la reducción de tamaño y granulometría final del producto, en cada etapa de conminución. En términos generales, la energía consumida en los procesos de conminución se encuentra estrechamente relacionada con el grado de reducción de tamaño alcanzado por las partículas en la etapa correspondiente. Por otro lado, se ha logrado demostrar que en las etapas de chancado y molienda, la energía mecánica (Tabla 2.2) suministrada al equipo de conminución supera entre 10 a 100 veces el consumo teórico de energía requerida para crear nuevas superficies, es decir, menos del 10% del total de energía entregada al equipo de conminución es efectivamente empleada en la fragmentación de las partículas.

Tabla 2.2: Relación de energía – Tamaño de partícula

Etapa	Sub-etapa	Rango de tamaño	Consumo de energía (Kwh/t)
Chancado	Primario	100 a 10 cm.	0,3 a 0,4
	Secundario	10 a 1 cm.	0,3 a 2
	Terciario	1 a 0,5 cm	0,4 a 3
Molienda	Primario	10 a 1 mm.	3 a 6
	secundario	1 a 0,1 mm.	4 a 10
	Terciano	100 a 10 μ m	10 a 30

2.3.3 VARIABLES DE CONTROL DE LA MOLIENDA

Toda molienda se reduce a administrar y controlar correctamente las variables

(Ver anexo 2) que influyen en el tamaño de las partículas de descarga del molino estas son:

2.3.3.1 LA VELOCIDAD CRÍTICA

La velocidad crítica para un molino y sus elementos moledores es aquella que hace que la fuerza centrífuga que actúa sobre los elementos moledores, equilibre el peso de los mismos en cada instante. Cuando esto ocurre, los elementos moledores quedan “pegados” a las paredes internas del molino y no ejercen la fuerza de rozamiento necesaria sobre el material para producir la molienda, ni la de percusión (Formula 2.1).

Fórmula 2.1: Velocidad crítica.

Ej. del cálculo con elementos esféricos.

$$F_{\text{centrifuga}} = m \cdot v^2 / R$$

$G \cdot \text{sen} \alpha$ (componente centripeta del peso G)

igualando queda: $m \cdot v^2 / R = G \cdot \text{sen} \alpha$

si $\alpha \rightarrow 90^\circ \Rightarrow \text{sen} \alpha \rightarrow 1$. reemplazando: $G = m \cdot v^2 / R$

Si $G = m \cdot g$ y $v = D \cdot n \cdot \pi$. reemplazando: $m \cdot g = m \cdot D^2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot R$

$$g = 2 \cdot D^2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot D$$

$$g = 2 \cdot D \cdot n^2 \cdot \pi^2$$

$$n^2 = \frac{g}{2 \cdot D \cdot \pi^2}$$

$$n = \sqrt{\frac{9.8}{2 \cdot \pi^2} \cdot \frac{1}{D}}$$

$$n \text{ (rps)} = 0.705 \sqrt{\frac{1}{D \text{ (m)}}}$$

$$n_c \text{ (rpm)} = 42.3 \sqrt{\frac{1}{D \text{ (m)}}}$$

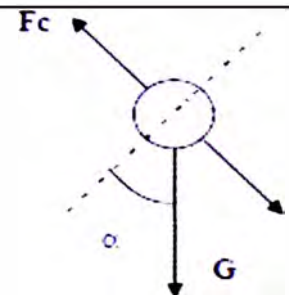
$$n_c \text{ (rpm)} = 76.63 \sqrt{\frac{1}{D \text{ (ft)}}}$$

“La velocidad crítica es función de la inversa de la raíz cuadrada del diámetro del molino”.

Molino de bolas: $C_s = 75\%$ (n_c)

Molino de barras: $C_s = 70\%$ (n_c)

$C_s =$ Velocidad de Rotación del Molino



Los molinos de bolas comúnmente se operan a velocidades mayores que los molinos de barras, de tal forma que se obtiene primordialmente un efecto de catarata. La velocidad normal (Fig. 2.14) está comprendida entre el 70 y 80% de la velocidad crítica. La velocidad periférica del casco tendrá un efecto decisivo sobre la efectividad de la acción de molienda del medio:

Si su velocidad fuese demasiado baja, los cuerpos moledores rozan sobre el recubrimiento del molino; rodando unos sobre otros siguiendo una trayectoria aproximadamente circular concéntrica alrededor de una zona más o menos estacionaria llamada "zona muerta o nula", la molienda se realiza por fricción interviniendo siempre fuerzas de cizallamiento los que da lugar a un producto de molienda fino.

Si la velocidad de rotación es relativamente alta, los cuerpos moledores siguen una trayectoria que comprende parte en caída libre, donde poseen una energía cinética elevada, la molienda se realiza por choques. Se dice que la carga en el molino sigue un movimiento de catarata, cuando los medios de molienda de bolas son arrojados desde la parte alta de la carga hasta el pie de ella, el movimiento de catarata generalmente produce fragmentación por impacto lo que da lugar a un producto de molienda grueso.

Si la velocidad de rotación es demasiada alta (Fig.2.15), se forma una trayectoria inadecuada de los elementos moledores resultando que las bolas caen directamente sobre los revestimientos dañando los revestimientos y la coraza del cilindro.

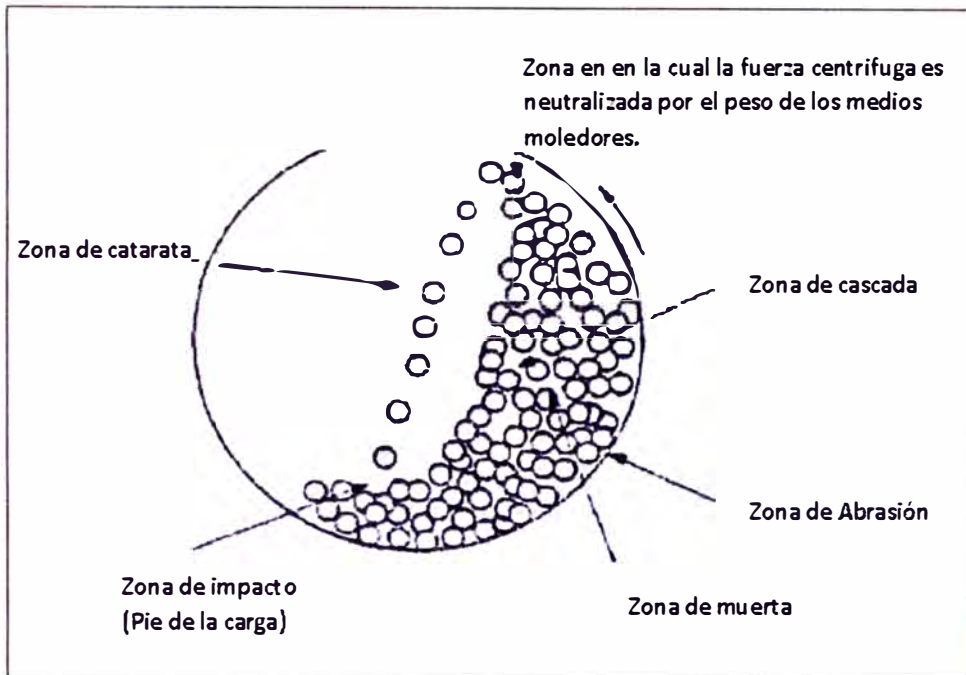


Fig. 2. 14. Trayectoria de bolas adecuado

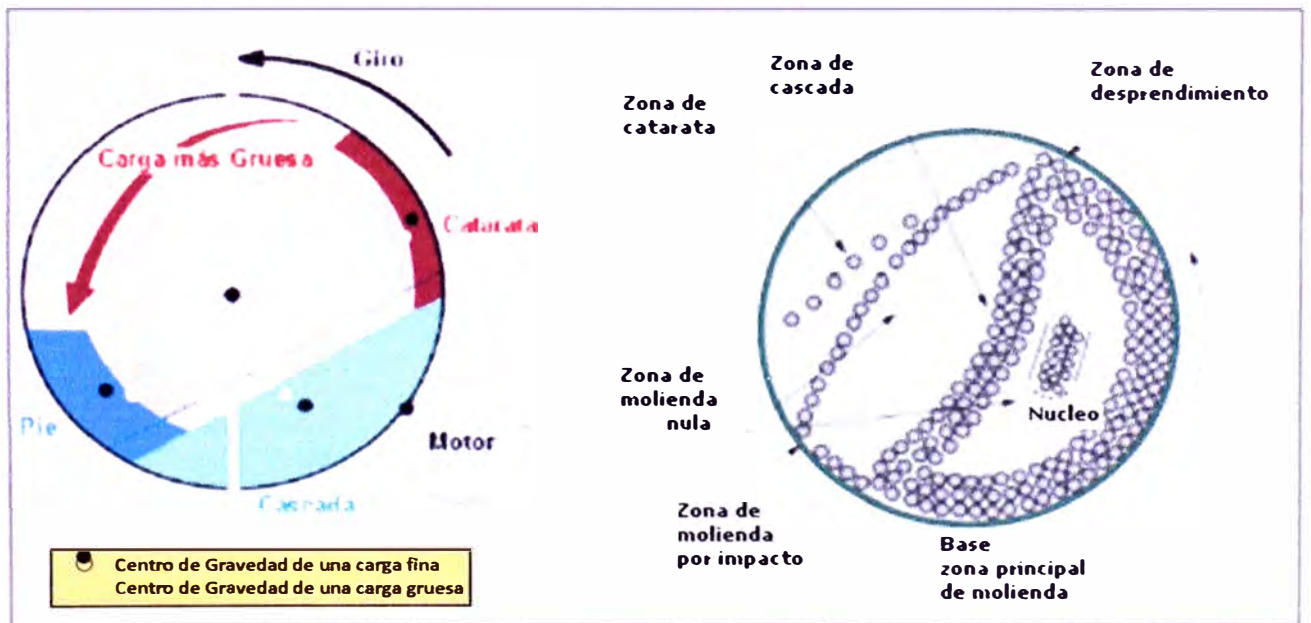


Fig. 2.15: trayectoria de bolas inadecuado

2.3.3.2 RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS VARIABLES

A. RELACIONES ENTRE DIÁMETRO DE MOLINO, VELOCIDAD, Y DIÁMETRO DE BOLAS

El diámetro del molino, su velocidad, y el diámetro de los elementos molidores son los elementos variables. Las relaciones entre ellos son:

- A mayor diámetro de bolas, mayor posibilidad de rotura de partículas grandes (percusión).
- A menor diámetro de bolas, mayor molienda de partículas pequeñas y capacidad (por una mayor superficie de los elementos molidores, fricción).
- A mayor diámetro de bolas, mejora la molienda de material duro (percusión).
- Para igual molienda, a mayor diámetro del molino o mayor velocidad, menor el diámetro necesario de bolas.

B- RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS VARIABLES (CARGA DE MINERAL, ALIMENTACIÓN DE AGUA, Y CARGA MOLEDORA).

Son los factores que al regular éstos determinan una mayor capacidad en el molino.

Estas variables son las siguientes (Fig. 2.16):

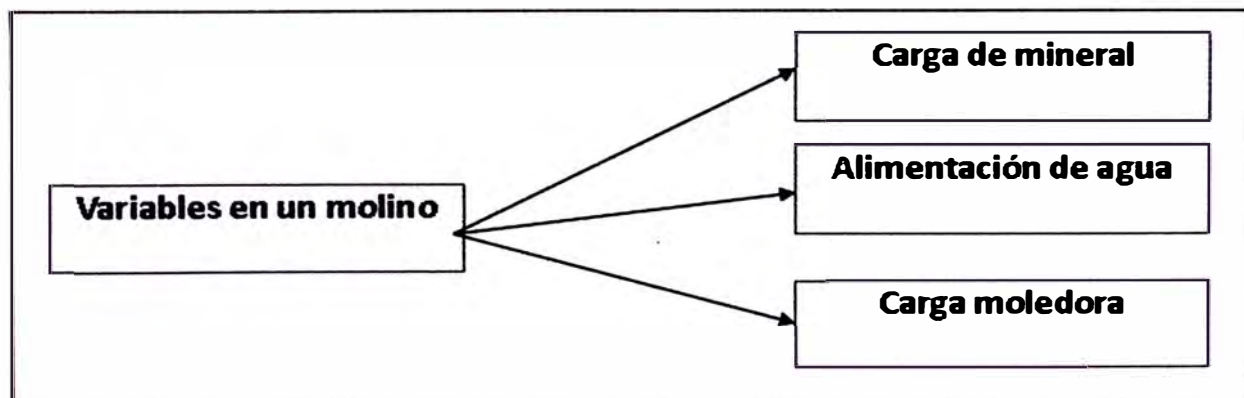


Fig. 2.16: Variables de un molino

CARGA DE MINERAL

La alimentación de mineral a los molinos debe de ser en cantidad constante (peso), para tal efecto los alimentadores de mineral deben de cumplir con esta función, además, en casi todas las Plantas existen balanzas automáticas que registran el peso de mineral alimentado a los molinos, van acumulando éstos para referirlo al tratamiento diario. La alimentación de mineral a los molinos debe de cumplir la regularidad en tamaño, es decir, que el tamaño de las partículas de mineral alimentado al molino, una vez determinado éste (que debe ser el más apropiado para el tipo de mineral), se debe de cumplir con alimentar el mineral a ese tamaño. Ver (Fig. 2.17)

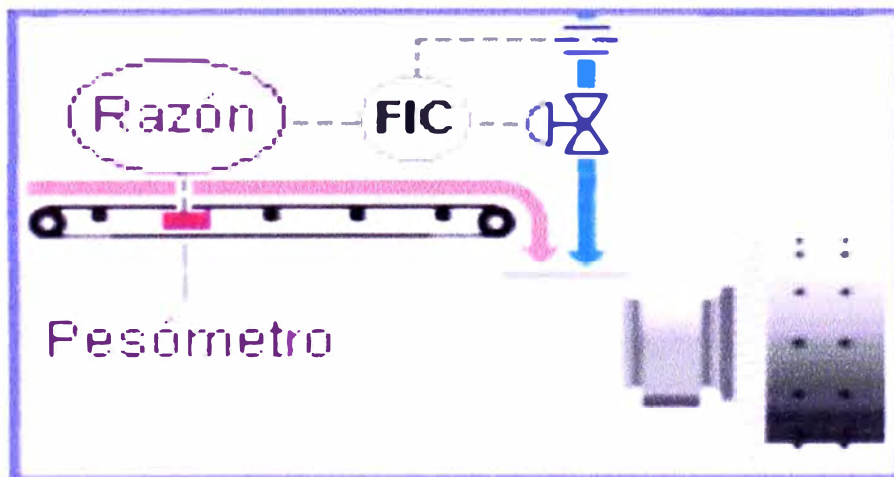


Fig. 2.17: Controlador de peso y tamaño de partículas

ALIMENTACIÓN DE AGUA

Esta variable se controla tomando la densidad de descarga de los molinos, esta densidad debe estar entre ciertos límites, si ésta es demasiado baja quiere decir que en el molino hay una mayor cantidad de agua que la requerida, por lo tanto el molino no muele ya que las partículas de mineral tienen una mayor velocidad de desplazamiento saliendo la pulpa con mucha rapidez y así no le permite al molino entregar un producto de las especificaciones en malla requerida; cuando hay muy poca agua quiere decir que la densidad es muy alta, tal que la carga avanza muy lentamente en el molino perdiendo capacidad lo que motivará estar más bajo de lo normal. Por otro lado cuando la alimentación de agua es deficiente, el barro se vuelve muy espeso alrededor de las bolas o barras impidiendo buenos golpes porque el barro los amortigua, por lo tanto no habrá buena molienda (Fig. 2.18).

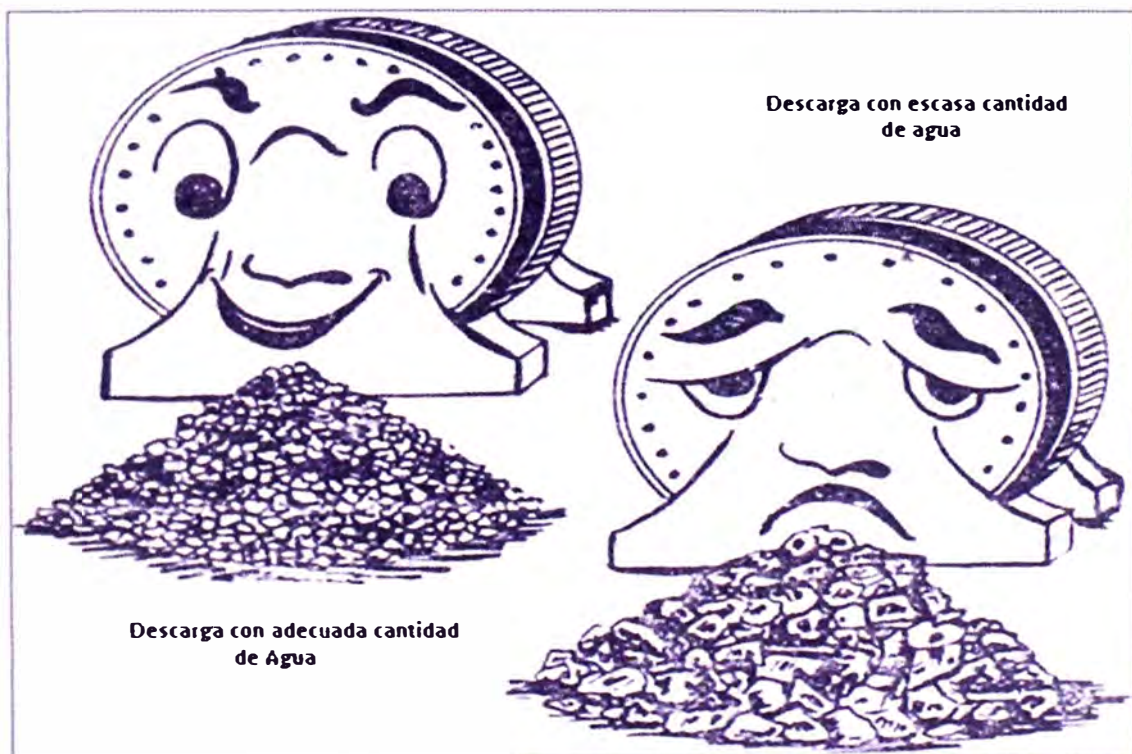


Fig. 2.18: cuadro figurativo de la alimentación de agua del molino

CARGA MOLEDORA

Esta carga está dada por la carga inicial recomendada en los catálogos del fabricante y para la carga diaria, por los datos estadísticos de operación de cada planta, para la alimentación en el tamaño de bolas, diámetro de las barras. Juegan un papel importante la estadística de la carga diaria y de los análisis granulométricos que se realizan en laboratorio experimental. El consumo de los cuerpos moledores en una planta está dado en función al tonelaje tratado, a la dureza del mineral, al tamaño de la carga de mineral alimentado y a la finura de la molienda, o sea, al producto de la malla a la que se quiere llegar (Fig. 2.19).



Fig. 2.19: Medios de molienda para molinos de bolas

2.3.3.3 TAMAÑO MÁXIMO DE LOS ELEMENTOS MOLEDORES

En los molinos de barras y bolas, los elementos moledores no tiene todos el mismo tamaño, sino que a partir de un diámetro máximo se hace una distribución de los mismos en tamaños inferiores como ejemplo mostramos la fórmula del cálculo del diámetro máximo de bola (Formula 2.2).

Formula 2.2: Diámetro máximo de las bolas

$$M(\%) = \sqrt{\frac{F(\mu) \cdot W_1}{K \cdot C_s(\%)}} \cdot \sqrt{\frac{S(\text{ton m}^3)}{D(\text{ft})}}$$

M: diámetro máximo

F: tamaño de alimentación del 80% de la carga

W_1 : Work Index, es una constante adimensional función de la naturaleza del material molido

K: constante adimensional que vale: bolas → 200 y barras → 300

C_s : porcentaje de la velocidad crítica

S: peso específico del material a moler

D: diámetro interno del molino

2.3.3.4 VOLUMEN DE CARGA

Los molinos de bolas y barras no trabajan totalmente llenos, el volumen ocupado por los elementos moledores y el material a moler referido al total del cilindro del molino, es lo que se denomina Volumen de Carga. (Ver fórmula 2.3)

Habitualmente en molienda secundaria el volumen de carga es del 30% al 40%, el material a moler ocupa entre una 30% a un 40%. En la molienda primaria el volumen de carga es del 15% al 20%.

Fórmula 2.3: Volumen de carga

$$V(\%) = \frac{(V_{\text{material a moler}} - V_{\text{elementos moledores}})}{V_{\text{interior del cilindro}}} \times 100$$

2.3.3.5 POTENCIA

La máxima potencia es desarrollada cuando el volumen de carga es del 50% Aproximadamente. Generalmente se trabaja entre un 30% y un 40%, ya que como la curva es bastante plana, el % de potencia entregado es similar al 50%. (Ver fig. 2.20). El amperímetro debe marcar entre determinados límites, por lo general en los molinos, una subida del amperaje indica exceso de carga. Una bajada del amperaje indica falta de mineral porque la carga moledora golpea el blindaje.

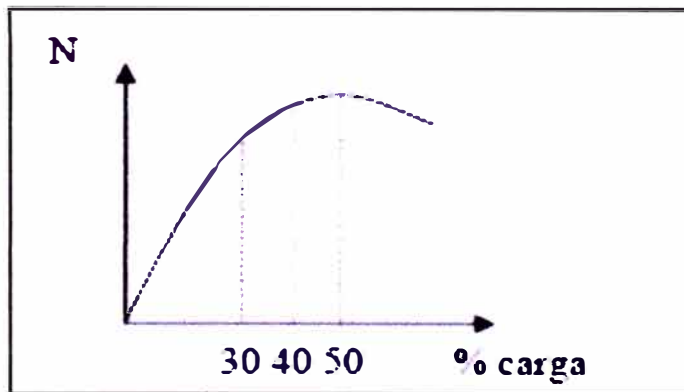


Fig.2.20: Curva de relación de potencia vs. Volumen de carga

2.3.3.6 TIPOS DE MOLIENDA: MOLIENDA HÚMEDA Y MOLIENDA SECA

La molienda se puede hacer a materiales secos o a suspensiones de sólidos en líquido (agua), el cual sería el caso de la molienda Húmeda. Es habitual que la molienda sea se caen la fabricación del cemento Portland y que sea húmeda en la preparación de mineral es para concentración (Ver tabla 2.3).

Tabla 2.3: Cuadro comparativo de la molienda

Molienda Húmeda	Molienda Seca
• Requiere menos potencia por tonelada tratada.	• Requiere más potencia por tonelada tratada.
• No requiere equipos adicionales para el tratamiento de polvos.	• Si requiere equipos adicionales para el tratamiento de polvos.
• Consume más revestimiento (por corrosión).	• Consume menos revestimiento.

2.4 EL CAUCHO

Polímero de alto peso molecular formado por largas cadenas de monómeros, de características plásticas y moldeables. Puede ser considerado como un “fluido” de alta viscosidad. Factible de ser vulcanizado o curado.

2.4.1 TIPOS DE CAUCHO

A) CAUCHO NATURAL:

Caucho obtenido al procesar directamente la “savia” del árbol *Hevea Brasiliensis*, la cual es coagulada, separando a su vez el líquido para obtener el polímero que químicamente corresponde a Poli-Isopreno. La denominación “natural” proviene del origen de su obtención (el árbol).

B) CAUCHOS SINTÉTICOS:

Cauchos obtenidos al procesar derivados del petróleo. A partir de distintas moléculas se generan polímeros con características específicas que pueden reemplazaren distintos usos al caucho natural, o complementar loa través de mezclas. La denominación “sintético” proviene del origen de su obtención (fábricas).

C) CAUCHOS SINTÉTICOS TÍPICOS:

Los cauchos sintéticos típicos y característicos más difundidos en la industria del caucho son el Poli-Estireno-Butadieno (SBR) y el Poli-Butadieno (BR), los cuales, junto al caucho natural (NR) cubren prácticamente casi todo el abanico de compuestos necesarios para el uso industrial más conocido. Existen otros cauchos sintéticos que se utilizan para usos específicos debido a sus características especiales de resistencia a determinadas sollicitaciones o ambientes.

2.4.2. CAUCHO: NATURAL VS SINTÉTICO

Las características de los compuestos de caucho "goma" serán diferentes dependiendo de los polímeros usados. Así, por ejemplo, un compuesto de caucho natural tendrá mejores condiciones para un determinado uso, respecto de uno en base a sintéticos, pero éste último lo superará en otros servicios. Lo mejor entonces, es considerar compuestos que contengan ambos tipos de caucho para utilizar las características positivas de ambos en la tabla 2.4 podemos observar los diferentes tipos de caucho y una comparación de sus propiedades físicas.

Tabla 2.4: Comparación de propiedades de los cauchos

Solicitud	Tipo de Caucho								
	Natural (NR)	SBR	BR	EPDM	Butilo (IIR)	Neoprene (CR)	Acr.Nitr (NBR)	VMón (FKM)	Hypalon (GSM)
Ruptura	E	M	M	M	R	E	M	MB	B
Desgarro en frío	B	R-B	B	B	B	B	R	R	R
Desgarro en caliente	B	R-B	R	E	R	B	M	-	-
Abrasión	E	MB	E	E	R-B	E	E	B	E
Cond. atmosféricas	M	M	M-R	E	MB	E	R	E	E
Oxidación	B	B	B	E	MB	B	R	E	E
Calor	B	B	B	B	MB	B	B	E	E
Flexibilidad a baja T°	E	B	E	B	R	R	R	B	R
Recup. a la compresión	R-B	M-R	B	B	R	M-R	B	MB	R
Impermeabilidad	R	R	M-R	M-R	E	B	E	M	M
Fuego (Llama)	M	M	M	M	M	E	M	B	B
Alcalis (Ej: NaOH)	B	B	B	B	MB	B	R	R	MB
Ácidos diluidos	B	R-B	B	B	E	E	B	E	E
Ácidos concentrados	R-B	R-B	B	B	E	B	R	E	E
Gasolina y aceites	M	M	M	M	M	B	E	E	B
Hidrocarburos	M	M	M	M	M	B	E	E	B
Hidr. Aromáticos	M	M	M	M	M	R	R	E	R-B

E: Excelente, B: Bueno, R: Regular, M: Malo

2.4.3. PROCESAMIENTO DEL CAUCHO

a) Compuesto de Caucho.

El caucho es la base de todo compuesto (Elasticidad y resistencia a distintos ambientes); pero necesita de aditivos que mejoren sus características, principalmente: Resistencia a la Abrasión, Desgarro y Cortes; y también Capacidad de Vulcanizar.

Los materiales o aditivos que se agregan al caucho para mejorar su rendimiento son los siguientes:

a.1. Negro de Humo (Negro de carbono)

Se les conoce como cargas, y proporcionan al caucho un considerable aumento en la resistencia a la abrasión, desgarro y cortes.

a.2. Ablandadores (Aceites)

Se agregan al compuesto solamente para entregar al caucho las características de “procesabilidad” para preparar piezas y preformas previo a la vulcanización.

a.3. Químicos. (Sistema de Vulcanización, Antioxidantes, Activadores, etc.)

Son materiales que a pesar de estar en % muy pequeños en las fórmulas, entregan propiedades muy importantes, como la capacidad de vulcanizar, acelerar y la protección ante condiciones externas.

b) Mezclado de Compuestos de Caucho

Dosificación: Puede variar considerablemente dependiendo de los requerimientos del compuesto, pero una aproximación general es la siguiente:

- Caucho: 50 %
- Cargas: 35 %
- Ablandadores: 10 %
- Químicos: 5 %

c) Solubilidad y Migración de elementos.

Es el material que puede ser solubilizado en un solvente, a una temperatura determinada. (A mayor temperatura, mayores la solubilidad; es decir, se disuelve más cantidad de material en el solvente).

En el caso de las mezclas de caucho, éste actúa como solvente donde se disuelven la mayoría de los agregados. Esto ocasiona el fenómeno de migración o “Blooming” (principalmente de azufre), fenómeno que debe ser considerado ya que afecta fuertemente la pegajosidad o “Tacking” de los compuestos.

d) Almacenamiento

El Almacenamiento de los compuestos debe ser realizado en lugares cubiertos (es altamente nocivo que los compuestos reciban directamente la luz solar), con baja humedad y con temperaturas ambientales < 35 °C. Almacenamiento y reposos adecuados y controlados son importantísimos para mantener la integridad de los compuestos.

2.4.4. VULCANIZACIÓN

a) Definición.

Reacción química a través de la cual el compuesto crudo (o “en verde”) es transformado desde un estado blando, plástico y soluble; a un estado duro, elástico y soluble (Ver Fig.2.21).

Esta reacción química se produce por acción del azufre, el cual por acción de la temperatura produce el “entrecruzamiento” de las moléculas de caucho, generando

una malla (o red) molecular que dan las características de dureza, elasticidad e insolubilidad al material. La vulcanización es un proceso irreversible.

Fig.2.21: Propiedades del caucho según su estado

<u>Crudo</u>	<u>Vulcanizado</u>
<i>Blando</i>	<i>Duro</i>
<i>Plástico</i>	<i>Elástico</i>
<i>Soluble</i>	<i>Insoluble</i>
Proceso	Uso

b) Materiales Plásticos y Elásticos.

Plástico: Es un material deformable, cuya deformación es permanente ante una sollicitación de tracción. No genera rebote si se arroja sobre él una bolita.

Elástico: Es un material que recupera su forma original ante una sollicitación de tracción. Genera rebote si una bolita cae sobre él.

Los compuestos de caucho presentan una componente elástica y otra plástica. Mientras mayor sea la componente plástica, el compuesto generará más rápidamente calor en servicio.

c) Variables Importantes.

Las variables más importantes, y que aseguran un buen vulcanizado son: Temperatura, Tiempo y Presión. Una vulcanización óptima se obtiene por la combinación precisa de estas 3 variables:

Temperatura: Es la variable fundamental en la vulcanización. Por su acción se produce el entrecruzamiento molecular del caucho.

Tiempo: Su importancia radica en que determina un óptimo de vulcanización a una temperatura determinada.

Presión: Su importancia es que logra la compactación necesaria para complementar un buen vulcanizado.

d) Características de Piezas Vulcanizadas.

Deben cumplir con las propiedades físicas que indique una especificación de la compañía, o con un requerimiento (cuantitativo) del cliente. Si no existen estos documentos, se debe generar el requerimiento cuantitativo en base al servicio que prestará la pieza requerida las características más importantes son:

d.1. Velocidad de Vulcanización.

Es el grado de vulcanización que presenta un compuesto, por unidad de tiempo, a una temperatura determinada. En la práctica, esta velocidad determina el tiempo total que se necesita para vulcanizar una pieza, a una temperatura determinada, y obtener un óptimo de vulcanización.

La velocidad de vulcanización es específica, particular y prácticamente única para un compuesto determinado.

d.2. Reometría.

Es el análisis que se realiza a un compuesto para determinar sus características de Velocidad de Vulcanización, Scorch (quemado), Tiempo Óptimo de Vulcanización y tendencia a la Reversión.

Este análisis se materializa en una curva característica denominada "Curva Reométricas" que es propia y exclusiva de cada compuesto, es equivalente a la

“Huella Digital” de un compuesto específico, y por ende la Reometría es un análisis para determinar uso o rechazo en la preparación de gomas (ver Fig.2.23).

d.3. Reversión.

Es el fenómeno químico que corresponde a la destrucción de los enlaces moleculares del azufre con el caucho, lo cual deteriora las propiedades físicas del compuesto. Este proceso ocurre debido a la exposición continua de los materiales vulcanizados al calor (Por ejemplo: sobre-ciclos exagerados en proceso, o trabajo continuo de una pieza bajo condiciones de calor elevadas y permanentes).

En las curvas reométricas se puede observar la tendencia a la reversión de los compuestos, y el tiempo aproximado en que ésta comienza a ocurrir (Ver fig.2.22)

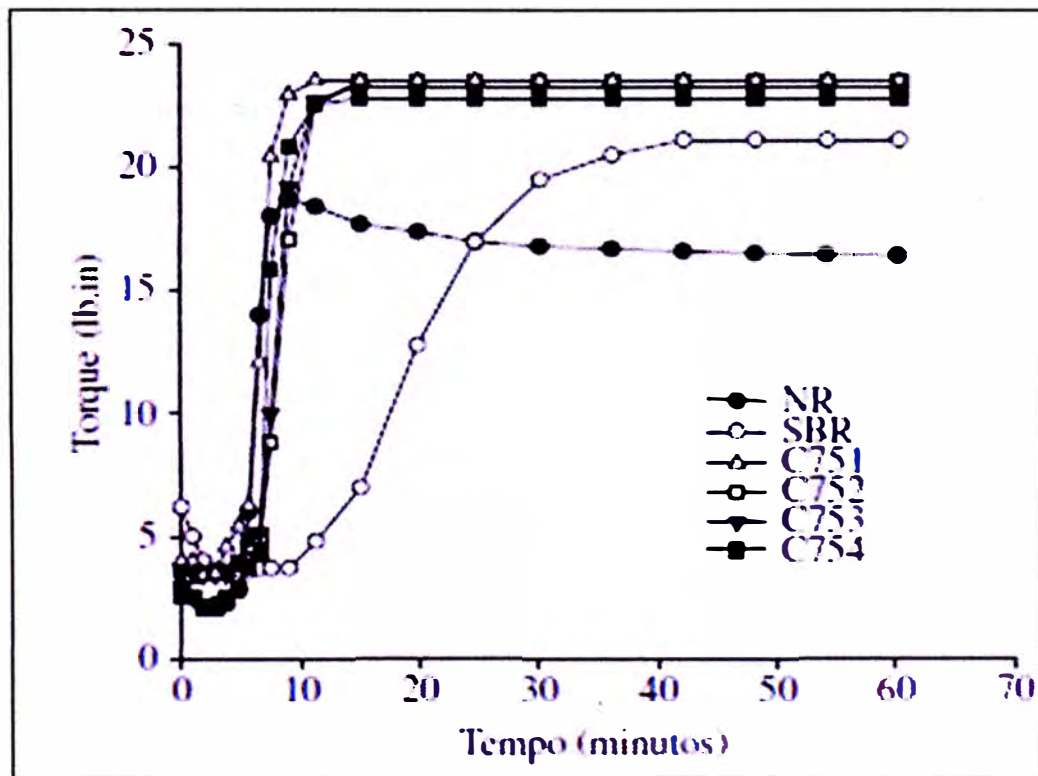


Fig. 2.22: Ejemplos de Curvas Reométricas de mezclas 75:25 NR:SBR

2.4.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES VULCANIZADOS

Veamos las propiedades físicas del caucho vulcanizado y una comparación del efecto de fuerzas mecánicas sobre el acero (Fig. 2.22) y el caucho (Fig. 2.23)

a) Dureza.

Es la capacidad de los compuestos de caucho para resistir la penetración de una aguja de dimensiones especificadas. (A mayor resistencia, mayor es la dureza).

b) Peso Específico.

Es el peso por unidad de volumen de un compuesto de caucho. (Costo: Cantidad en kilos que ocupa un determinado volumen).

c) Resistencia a la Tracción.

Es la resistencia, medida al cortarse, que opone un compuesto de caucho al ser estirado indefinidamente.

d) Elongación a Ruptura.

Es el % máximo de estiramiento que presenta un de un compuesto antes de romperse.

e) Módulo de tracción

Es la fuerza o resistencia que opone un compuesto de caucho al ser estirado a un % determinado.

f) Resistencia al Desgarro.

Es la fuerza resistencia que opone un compuesto de caucho alforzar la propagación de un corte de la forma en que se rasga una hoja de papel (Ver Fig. 2.25).

g) Resistencia a la Abrasión.

Es la fuerza resistencia que opone un compuesto de caucho al ser sometido a roce con una superficie rugosa especificada (raspado).

h) Resiliencia.

Es la capacidad de un compuesto de disipar energía en forma elástica.



Fig. 2.23: Efecto de las Fuerzas mecánicas en elementos rígidos



Fig. 2.24: Efecto de las Fuerzas mecánicas en elementos de goma

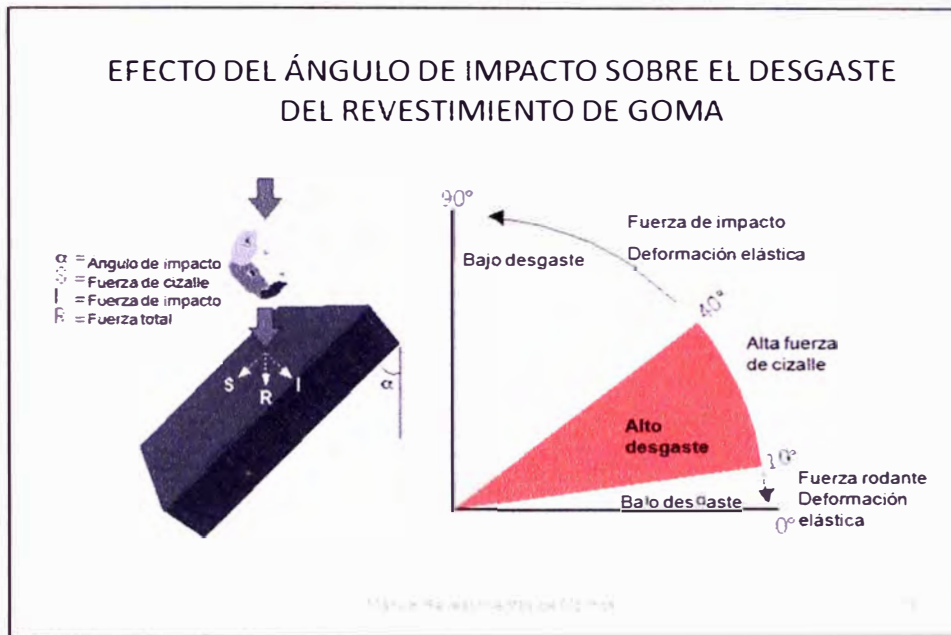


Fig. 2.25: Efecto del ángulo de impacto sobre el desgaste del revestimiento.

Tabla 2.5: Propiedades típicas de aceros y cauchos

<u>Material</u>	<u>Specific Grav</u>	<u>Ulti.stre</u>	<u>Yield str</u>	<u>Spec. strength</u>	<u>Spec Energy</u>
kg/m ³	MPa	MPa	MPa	J/kg	
Steel	7850	2144	1862	237	1043
Rubber	1250	28	28	25	50000

2.4.6. CAUCHOS O POLÍMEROS MÁS USADOS

a) Uso masivo general (“más comunes”):

- Caucho Natural (NR) (Poli-Isopreno)
- Caucho Estireno-Butadieno (SBR)
- Caucho Polibutadieno (BR)

b) Especiales:

- Caucho Poli-isobutileno (Butilo) (IIR)
- Caucho Poli-Cloropreno (Neopreno) (CR)
- Caucho Etileno (EPDM)
- Caucho Acrilo Nitrilo (NBR)

c) Otros Especiales:

- Caucho Polietileno Clorosulfanado (Hypalon) (CSM).
- Caucho hidrocarburo Fluorado (Vitón) (FKM).
- Poliuretano (PU)
- Vinil Acetato (EVA)

CAPITULO III

ESTADO ACTUAL DEL REVESTIMIENTO DE MOLINOS

(IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA)

La disponibilidad de los equipos de Molienda tiene una asociación directa entre la tasa de desgaste y a las contingencias con los elementos que configuran el revestimiento de un Molino.

Las diferentes contingencias producidas en los revestimientos provocan detenciones no planificadas, y la causa raíz de estas detenciones está mayormente relacionada a los desgastes prematuros, quiebres o desprendimientos de piezas, los cuales normalmente se relacionan con la disminución de la calidad de los componentes suministrados.

3.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los primeros revestimientos de molino introducidos en el mercado han sido de acero al manganeso (250 BH), ya que tiene propiedades físicas que consiste en que con el constante trabajo estos materiales se vuelven más duros.

Luego también se están usando los aceros cromo molibdeno que tienen una dureza de 380 BH, pero otro material que está entrando bastante al mercado de los revestimientos es el hierro fundido blanco por su alta resistencia a la abrasión, por

lo tanto es usado en molienda secundaria. Pero la mayor dificultad que tienen estos materiales es el peso que tiene las siguientes consecuencias:

- Alto costo de transporte
- Quiebre de piezas luego de las primeras semanas de trabajo en cilindro y tapas
- Muy peligroso para ser maniobrado por el personal por lo tanto presenta dificultad en la instalación
- Alto tiempo de instalación, en la parada de planta por lo tanto perdida de producción.
- En las parrillas de los molinos SAG cuando las bolas de conminución alcanzan el tamaño de los agujeros de la parrilla están quedan atascadas y se pierde área de recuperación de pulpa.
- Los pernos y los filos de los forros de acero cuando se desgastan se juntan y presentan micro soldadura haciendo más difícil el reemplazo en los tiempos de parada.
- Los forros en acero presentan Alto ruido siendo nocivo para el personal que trabaja en la planta
- El alto peso de los forros de acero consume demasiada energía siendo perjudicial para los intereses económicos de la compañía minera.

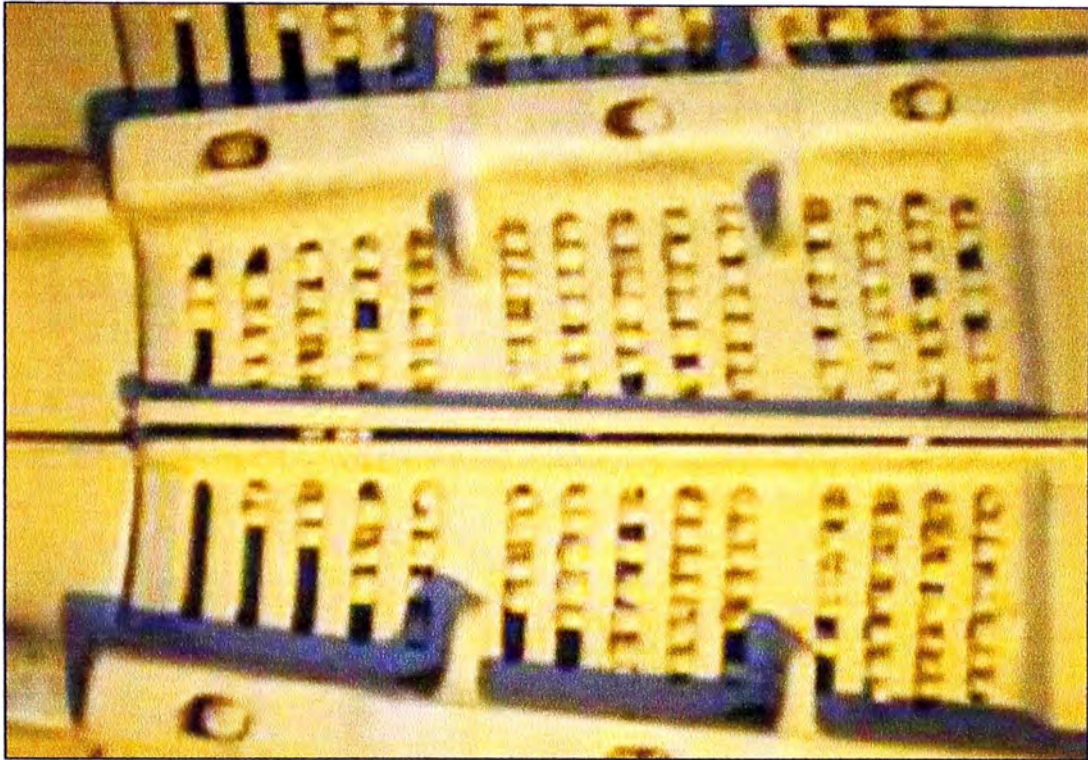
Los motivos constantes precedentes son de preocupación para las empresas procesadoras de minerales, por lo que se concentran en mejorar la eficiencia de estos elementos, no solo porque en el rubro de gastos constituye una suma significativa sino que también por aspectos relacionados con el rendimiento y la seguridad de la Planta así como el ahorro de tiempo, tanto desde el punto de vista de la calidad y el mantenimiento de la organización económica.

Los revestimientos de caucho con diferentes presentaciones según el diseño, que entraron en el mercado desde hace más de tres décadas como propuesta innovadora, si bien ha significado mejoras con respecto a los problemas presentados con los revestimientos en acero, a su vez requiere y es objeto de estudios para la mejora continua de su funcionalidad.

De esta manera, para aumentar la eficiencia de los molinos para el procesamiento de mineral, se puede mejorar las parrillas cambiando de material a caucho– metal, estos tienen oportunidad como producto para resolver la falla de atascamiento de bolas (Ver Fig.3.1) y de fracturas inesperadas que se presentan en las parrillas metálicas del molino SAG (Ver Fig. 3.2, Fig. 3.3).

También observamos que los factores de desgaste de un componente de acero del molino son:

- Tamaño de alimentación de molino
- Forma y dureza del mineral
- Medios de Molienda
- Velocidad de giro
- Volumen de carga (evitar sobrecarga o escases de carga)
- Volumen de bolas
- Tamaño del Molino.
- Densidad de Pulpa.



**Fig. 3.1: Molino SAG 32'x34'-Yanacocha
(Atascamiento de bolas en parrillas de descarga)**



**Fig. 3.2: MOLINO DE BOLAS 24'X35.5'-ANTAMINA
(Quiebre de revestimiento de la tapa de alimentación)**

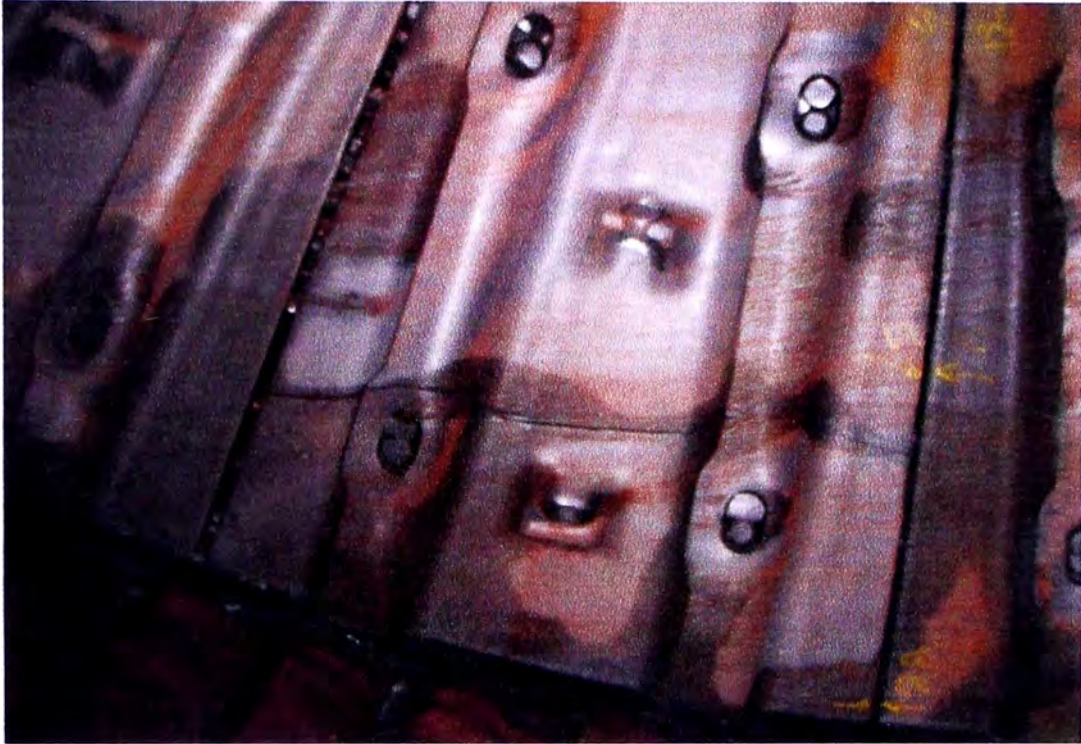


Fig. 3.3: Revestimiento de tapa quebrado.

CAPITULO IV
OPTIMIZACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS REVESTIMIENTOS
(SOLUCIÓN DE REVESTIMIENTOS CON
MATERIAL DE CAUCHO)

4.1. BENEFICIOS DE LOS REVESTIMIENTOS DE CAUCHO Y COMBINACIONES DE CAUCHO ACERO.

Muchos son los beneficios del material de caucho aplicado al revestimiento de los molinos como el evitar el atascamiento de bolas en las parrillas de los molinos SAG (Ver Fig. 4.1), los beneficios son los siguientes:

4.1.1 MENOR PESO

El beneficio más importante de los revestimientos de caucho o caucho acero combinados es la reducción del peso, ya que la densidad del caucho es 1,200 kg/m³ contra 7,850 kg/m³ del acero ,el cual se representa con el aumento de carga de bolas carga de mineral para procesar, reducción del diámetro del Trunnión, reducción del peso en los descansos mejorando la lubricación, elimina el riesgo de fisura en el cilindro, reduciendo el riesgo de accidentes en la instalación y reduciendo el tiempo de montaje y desmontaje.

4.1.2. MENOR COSTO DE INSTALACIÓN

Los revestimientos de caucho con refuerzo metálico reducen el peso hasta en un 70% en relación a uno metálico convencional, se instalan más rápido, más fácilmente y en forma más segura.

4.1.3. EFICIENCIA OPERACIONAL

Los compuestos elastoméricos, formulados especialmente para máxima resistencia al corte y Resiliencia evitando los quiebres (Fig. 4.2), incrementan la vida útil al desgaste reduciendo los tiempos de paro de los equipos. Los perfiles de los revestimientos son revisados y diseñados para ajustarse a una geometría y condición de operación específica ensamblado con más exactitud que los aceros y dejando menos aberturas entre piezas (Fig. 4.3).

4.1.4. MENOR NECESIDAD DE MANTENIMIENTO

Las almas metálicas de bajo perfil eliminan la necesidad de inspección frecuente, reparaciones y reajuste debernors. La utilización de elastómeros permite la deformación de éstos copiando la superficie interna del casco de molino, creando un sello que previene la infiltración de carga y erosión propia de la pulpa actuando contra el casco. Cambio de revestimiento en menor tiempo y mayor vida útil con menos interrupciones por mantenimiento lo cual se traduce en una mayor disponibilidad del molino y mejor eficiencia.

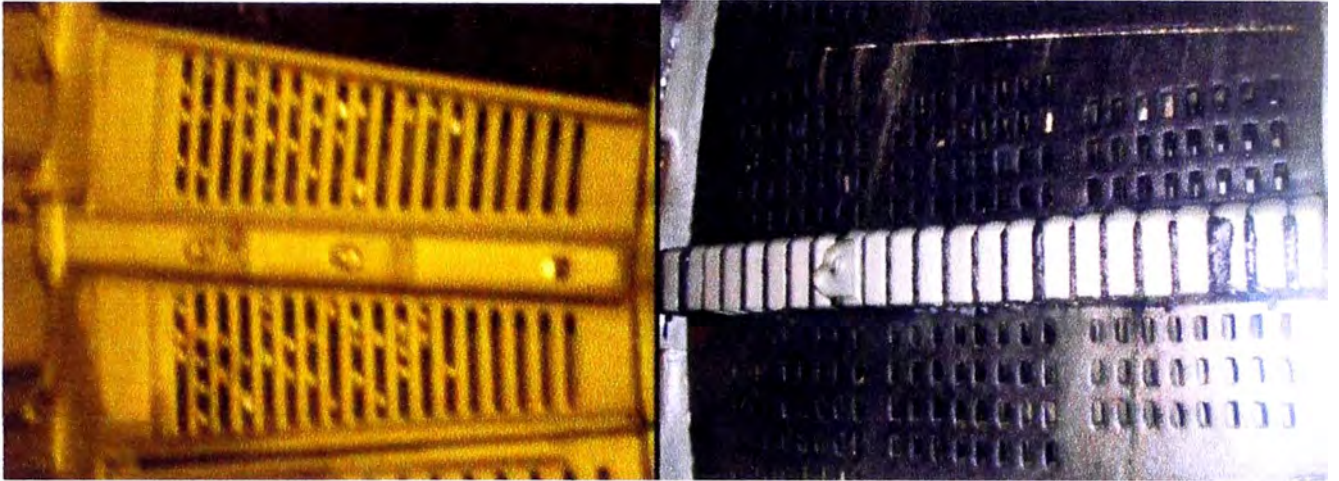
4.1.5. SALUD Y SEGURIDAD

Los revestimientos de goma reducen significativamente el nivel de ruidos generados y transmitidos por la molienda. El riesgo de lesiones durante la instalación de revestimientos elastoméricos se reduce debido al bajo peso de éstos. El cambio de revestimientos metálicos a revestimientos de goma también permite generar diseños integrados que reduzcan el número de componentes a manipular. (Ver anexo 3).

4.1.6. MENOR COSTO DE OPERACIÓN

Seguido del costo de la energía y de los medios de molienda, los revestimientos de molino son el mayor gasto recurrente en la operación de molienda. Comparando

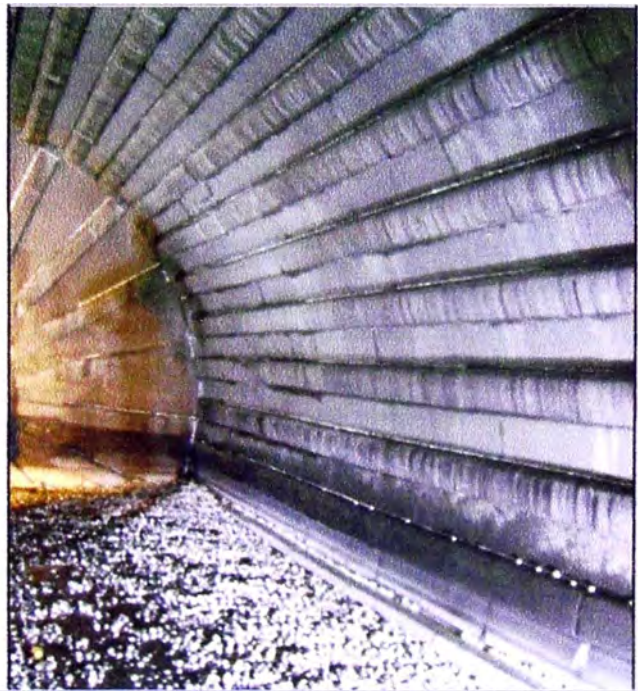
con los revestimientos metálicos tradicionales, los beneficios de los revestimientos elastoméricos efectivamente reducen este gasto.



**Fig. 4.1: Comparación de parrilla de acero (lado izquierdo) con parrilla de caucho (lado derecho)
Parrilla de caucho no presenta atascamiento de bolas.**



**Fig. 4.2: Tapa de alimentación
Revestido en caucho
(No presenta quiebre)**



**Fig. 4.3: Cilindro de Molino
Revestido en caucho
(Menos aberturas entre piezas)**

4.2 DISEÑO DE REVESTIMIENTOS PARA MOLINO

Para empezar a diseñar se debe clasificar si es molienda primaria, secundaria o remolienda el cual influirá en la selección del material del revestimiento.

Para una molienda primaria donde se considera a los molinos SAG, se deben utilizar revestimientos de caucho con incrustaciones de acero laminar Hardox de 450 HB, de dureza por su alta resistencia al impacto.

Para una molienda secundaria para molinos menores a 20 pies de diámetro se recomendaría un revestimiento de caucho puro y para molinos mayores a 20 pies se pueden usar levantadores con incrustaciones de hierro fundido Blanco de 600 BH de dureza por su alta resistencia a la abrasión según la Norma ASTM A532/A532M. (Anexo 5).

Luego para los molinos de remolienda también es común utilizar revestimientos de caucho puro, pero estos tipos de material también serán influenciados por la dureza del mineral a procesar.

Luego de clasificar al molino se debe obtener los datos de operación del molino, luego alimentar el software 2D DEM, del cual se obtendrá la altura y el ángulo de ataque de los levantadores, así como el espesor de los forros planos del cilindro.

Una vez obtenido el perfil del cilindro este diseño es usado en las tapas que sirven de apoyo al trabajo que hacen los levantadores del cilindro en la molienda.

En el caso de los descargadores para un molino SAG, se realizan simulaciones 3D, porque se tiene que analizar la dirección del flujo de descarga, y la abrasión en los nervios internos de los cajones descargadores.

PASOS PARA LA SIMULACIÓN DEL PERFIL DEL CILINDRO:

1. Obtener las condiciones de operación de la molienda (esto se obtiene del área de operaciones de la minera). El diseño de los levantadores serán solo para estas condiciones de operación, si estas cambian modificar el diseño.

Los datos necesarios son:

- ❖ Diámetro interior del molino
- ❖ Longitud interior del molino
- ❖ Numero de filas del levantadores
- ❖ Volumen de carga de bolas en %
- ❖ Volumen de carga de bolas + carga de mineral en %
- ❖ Diámetro mayor de las bolas moledoras o porcentaje de Distribución de tamaños del collar de bolas (Tabla 4.1).
- ❖ Velocidad de giro del molino (recomendado 75% Vel. Critica)
- ❖ Tamaño de alimentación al molino (F80)
- ❖ Tamaño de producto obtenido (P80)
- ❖ Dureza del tipo de material a alimentar.
- ❖ Carga circulante.

2. Cargar los datos de las condiciones de operación en el software BTP o 2D DEM y con estos datos de operación obtener la altura y el ángulo de ataque de los Lifter del cilindro, tener en cuenta que las bolas no deben caer en el casco del molino, sino en el pie del riñón formado por las bolas y el giro del molino.
3. Una vez obtenido la configuración del perfil del Lifter generar los planos de detalle para la fabricación.

Tabla 4.1: Cuadro de Recarga de bolas

Diam. de Bola, pulgadas	Tamaño de Recarga, pulgadas											
	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
6.0	16.0											
5.5	25.7	17.4										
5.0	19.3	27.3	19.0									
4.5	14.1	19.9	29.2	21.0								
4.0	9.9	14.0	20.5	31.2	23.4							
3.5	15.1	9.4	13.7	20.9	33.5	26.5						
3.0		12.0	8.6	13.2	21.1	36.0	30.6					
2.5			9.0	7.6	12.2	20.8	38.6	36.1				
2.0				6.1	6.3	10.7	19.8	41.0	43.9			
1.5					3.5	6.0	11.0	22.9	42.4	56.3		
1.0									13.7	43.8	100.0	

4.2.1. COMPONENTES DE CAUCHO PARA REVESTIMIENTO DE MOLINOS.

La Fig. 4.4 muestra las piezas generales que contiene un molino SAG o un molino de bolas con descargador normalmente usados en molienda primaria. En molienda secundaria estos molinos no llevan descargadores por lo tanto son omitidos los ítem 1,2 y 10, y por lo tanto su tapa de alimentación es igual a la tapa de descarga.

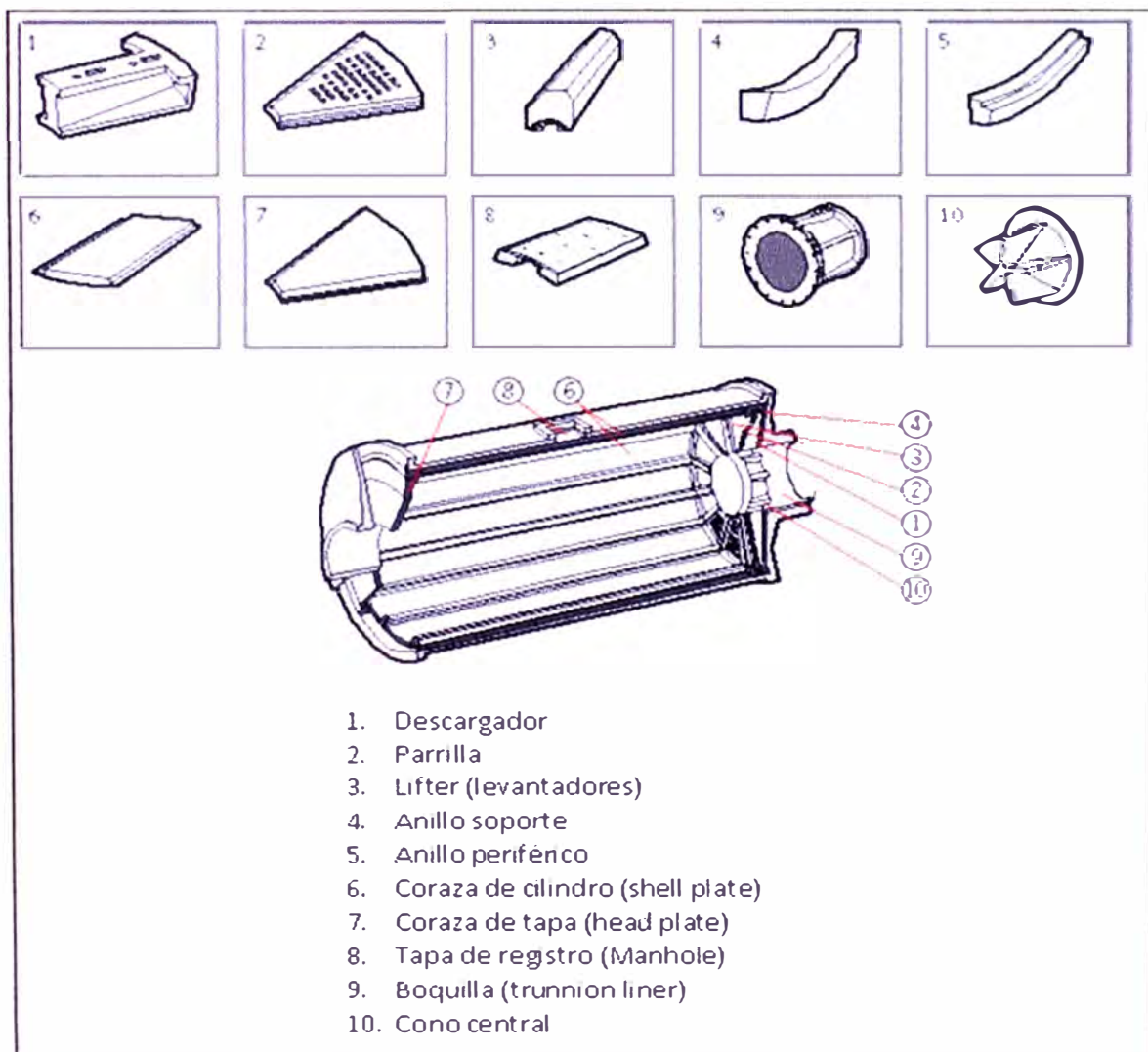


Fig. 4.4: componentes de caucho para revestimiento de molinos

4.2.2. ESTANDARIZACIÓN DE LEVANTADORES PARA REVESTIMIENTO DEL CILINDRO.

Los elementos levantadores o Lifter son estandarizados por facilidad de fabricación y estos son los que se muestran en las figuras 4.5 y 4.6.

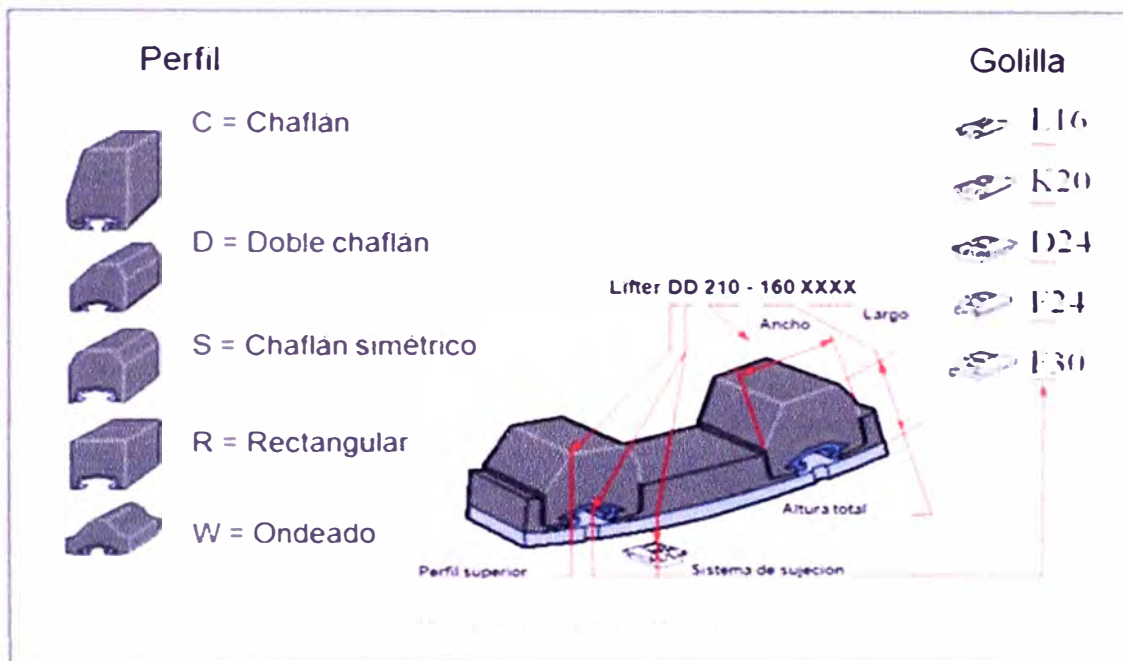


Fig. 4.5: Tipo de Levantadores para revestimiento de molinos

Área de aplicación	Perfil de lifter	Designación	Largo std	Elementos de sujeción
Molino Autógeno y Semiautógeno	100	SL 100-85	1320	Perno M16 or 5/8" UNC
		SL 100-110	1320	&
		SL 100-135	1320	Golilla tipo L16
Molino Primario de Bolas	140	DL 140-85	1320	Perno M16 or 5/8" UNC
		DL 140-110	1320	&
		DL 140-135	1320	Golilla tipo L16
		DL 140-160	1320	
Molino Secundario de Bolas	165	DK 165-110	1320	Perno M20 or 3/4" UNC
		DK 165-135	1320	&
		DK 165-160	1320	Golilla tipo K20
Molino de Remolenda y Petate	210	DD 210-140	1320	Perno M24 or 1" UNC
		DD 210-160	1320	&
		DD 210-180	1320	Golilla tipo D24
Molino de Barras	210	CF 210-225	1320-1800	Perno M24, M30 or 1" UNC
		CF 210-250	1320-1800	&
		CF 210-300	1320-1800	Golilla tipo F24 or F30
		CF 210-350	1320-1800	
		CF 210-400	1320-1800	
		CF 210-500	1320-1800	
Molino Secundario de Remolenda y Petate	250	CF 250-225	1320	Perno M24, M30 or 1 1/4" UNC
		CF 250-250	1320	&
		CF 250-300	1320	Golilla tipo F24 or F30
		CF 250-350	1320	
		CF 250-400	1320	
		CF 250-500	1320	

Fig. 4.6: Medidas de Levantadores para revestimiento de molinos

4.2.3. ESTANDARIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN

Los elementos de sujecion estan estandarizados para cada tipo de lifter (Fig. 4.7),

El procedimiento y torqueo lo podemos ver en el Anexo 4.

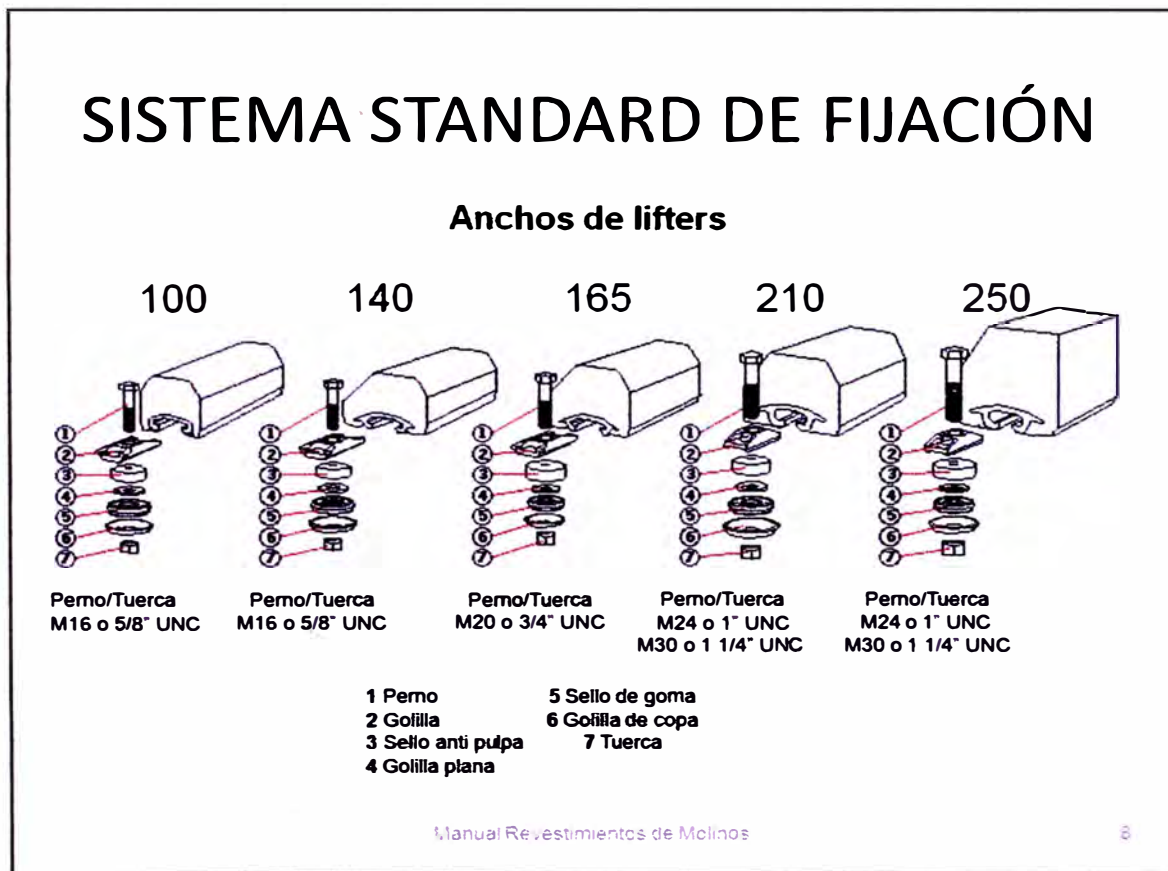


Fig. 4.7: Sistema estándar de Fijación de Levantadores –Lifter

4.3. CASO 1:

RENDIMIENTO DEL REVESTIMIENTO DEL MOLINO DE BOLAS MARCY 12.5'X13' CON RESPECTO A LA PRODUCCION ANUAL.

4.3.1. ANTECEDENTES

La Empresa Minera solicitó a la Empresa de Servicio, realizar un estudio de la operación de su Molino de bolas Marcy 12.5'x13' en mayo del 2009, con el objetivo de determinar las razones de su bajo rendimiento. El análisis y estudio de la empresa de servicio se enfoca al rendimiento del molino de bolas 12.5'x13' y al desgaste de sus revestimientos.

Para llevar a cabo el presente estudio, se revisaron las prácticas operacionales actuales, la estadística existente relacionada con la performance del molino, balances metalúrgicos proporcionados por la empresa minera y finalmente para complementar la información, se hizo un muestreo del circuito. Los resultados del muestreo fueron analizados con avanzados software de simulación.

4.3.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN ANTERIOR DEL MOLINO

Según el reporte de la empresa minera, indica que la Planta Concentradora actualmente está procesando 3,000 TMD, contando en el Área de Molienda con un molino de barras 13.8'x20' y un molino de bolas de 12.5'x13'.

En el mismo reporte, se hace referencia a la molienda en cascada y catarata indicando el grado de efectividad entre los rangos de tamaños de mallas 200 – 400 y de mallas 50 – 150 respectivamente.

Asimismo, se presentan los siguientes parámetros de operación del molino de bolas 12.5'x13' obtenida de una inspección de rutina:

- Carga Molturante : 25 %
- Velocidad Crítica : 72.33 %
- Amperaje de Trabajo : 118 A
- Amperaje Nominal : 171 A
- HP motor : 1500
- Voltaje : 4130 V
- Consumo de acero : 310 g/ton.
- Bolas 2.5", porcentaje de carga : 36%.
- Bolas 2", porcentaje de carga : 41%.
- Bolas 1.5", porcentaje de carga : 23%.
- Tipo de ataque de Lifter : Ondular de Ø 3"
- Numero de hileras: : 54

La empresa de servicio ha analizado el reporte en mención y toda la data proporcionada por la empresa minera, considerando indispensable la identificación de las variables principales, para que pueda interpretar los factores de eficiencia actuales, tener la línea base para determinar las oportunidades de mejora y a futuro poder desarrollar un trabajo de optimización del molino y del circuito de molienda en general.

Para determinar el material y el mejor perfil se analizan los siguientes parámetros:

- **Calculo del peso del revestimiento de acero Cr-Mo y Caucho-acero.**
- **Análisis de los perfiles de los elevadores**
- **Estimación del tiempo de duración y del costo del producto consumido.**

4.3.3. CALCULO DEL PESO DEL REVESTIMIENTO DE ACERO Cr-Mo Y CAUCHO-ACERO.

A. Dimensiones generales de los Revestimientos de acero

Los revestimientos son de acero cromo- molibdeno con una dureza de 350 HB, longitud promedio de 975mm., y tienen una duración aproximada de 12 meses. En las Fig. 4.8, mostramos vista general los revestimientos de acero, En las Fig. 4.9 mostramos las medidas generales de la sección del perfil, y en la Fig.4.10: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro.

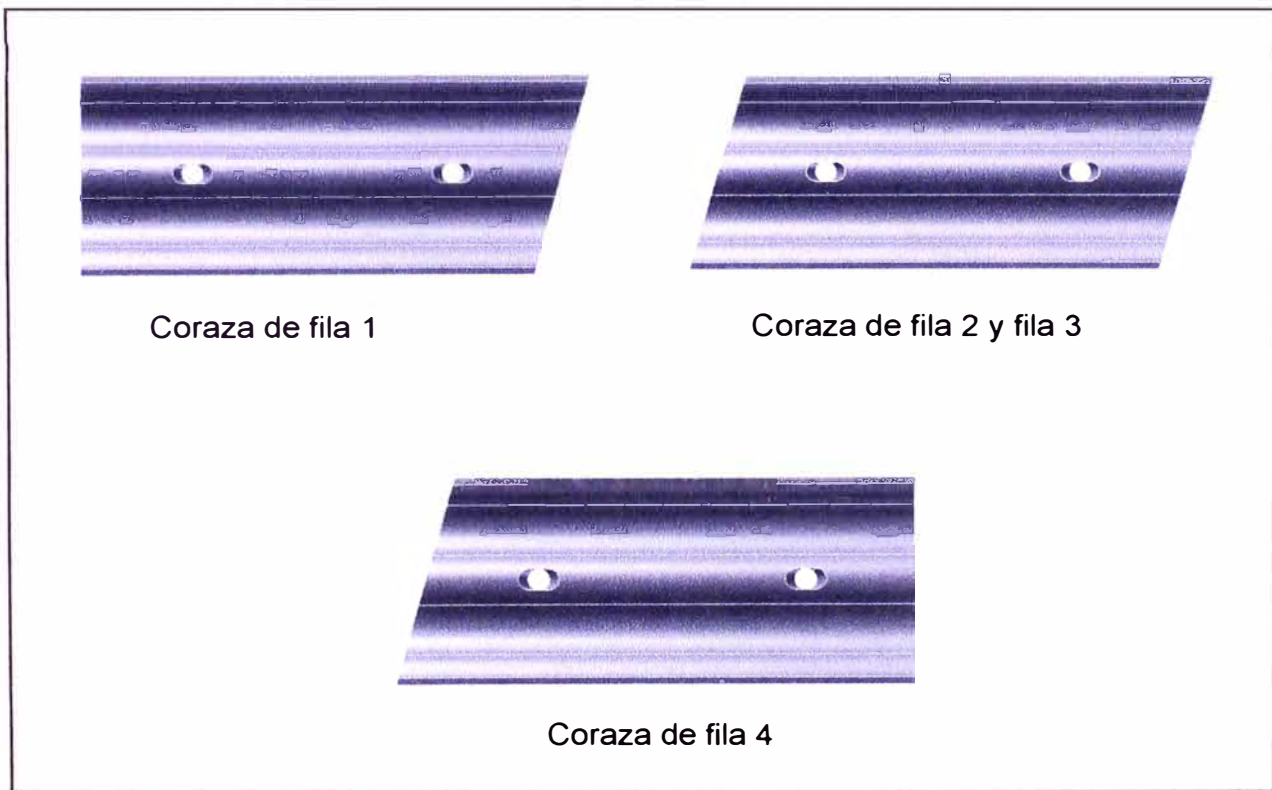


Fig. 4.8: Corazas de acero Cr-Mo del cilindro –Molino 12.5x13

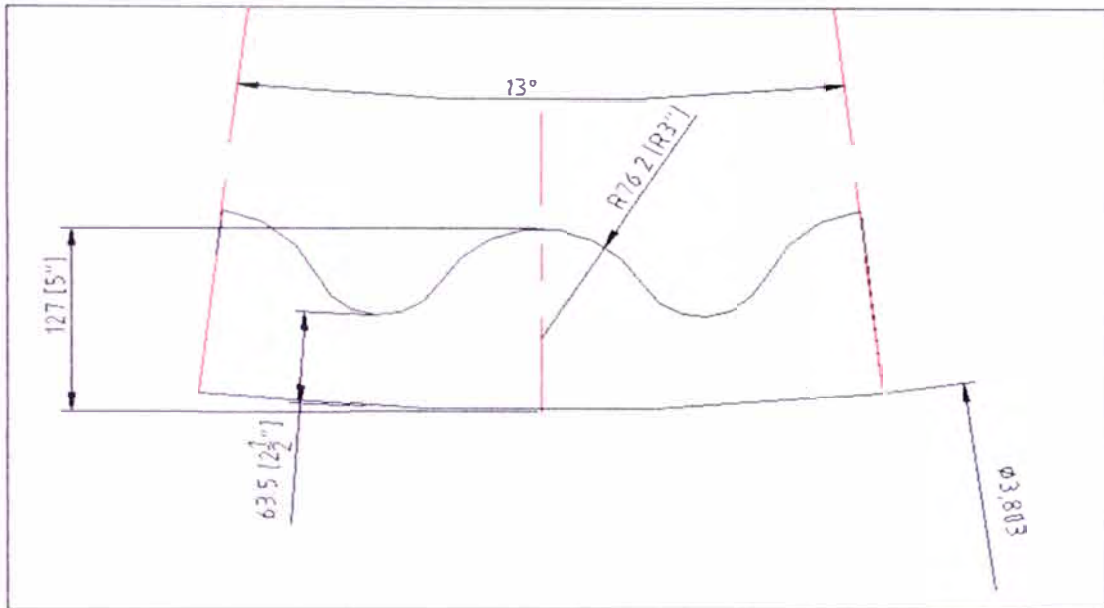


Fig. 4.9: Medidas generales del perfil de acero

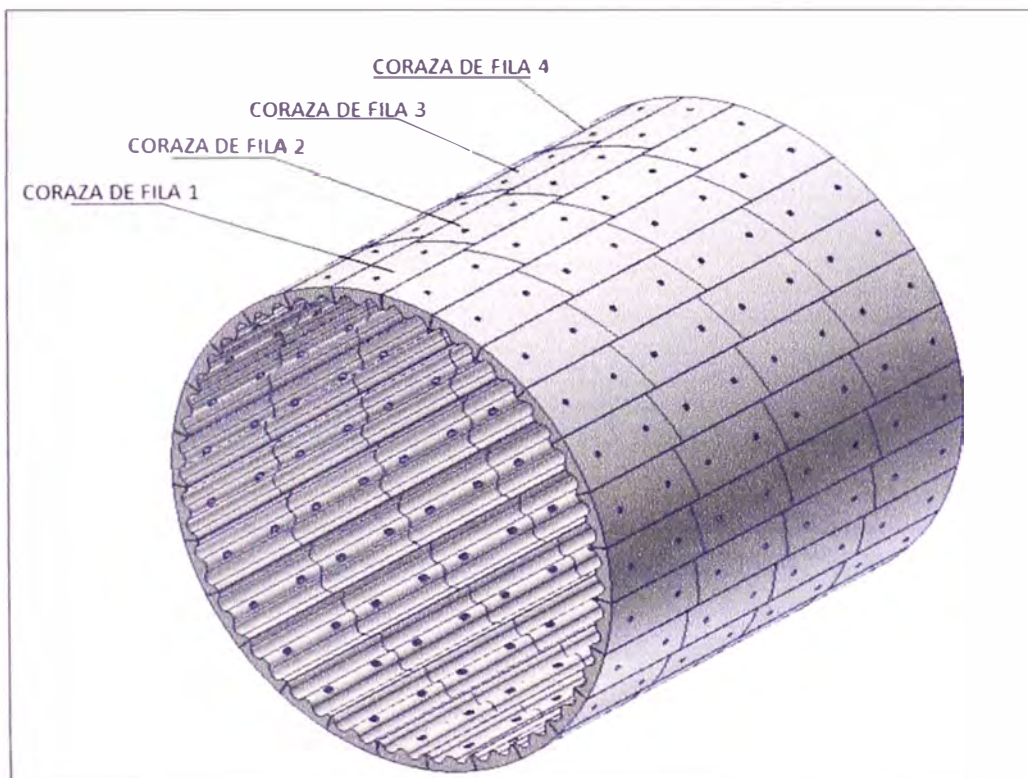


Fig. 4.10: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro

B. Dimensiones generales de los Revestimiento de caucho- acero

Estos revestimientos son de caucho de 60 short de dureza con incrustaciones de acero Hardox de dureza 600 BH, y tienen una duración de 16 meses. En las Fig. 4.11 y 4.12 mostramos vista general de los revestimientos de caucho, En las Fig. 4.13 mostramos las medidas generales de la sección del perfil, y en la Fig.4.14: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro. También en el Anexo 6, vemos el despiece del revestimiento del molino Marcy Ø12.5'x13'.

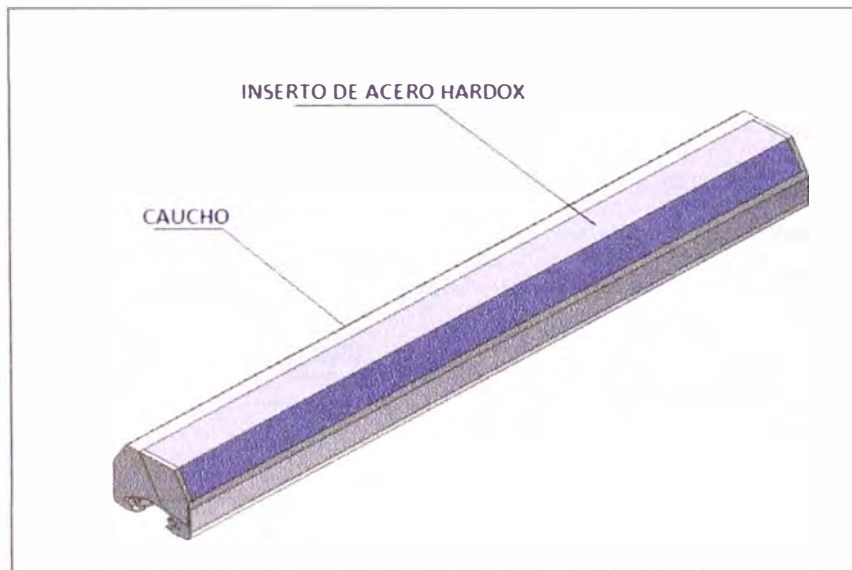


Fig.4.11: Lifter DK 165-135 30° (Caucho Acero) Longitud: 1310mm.

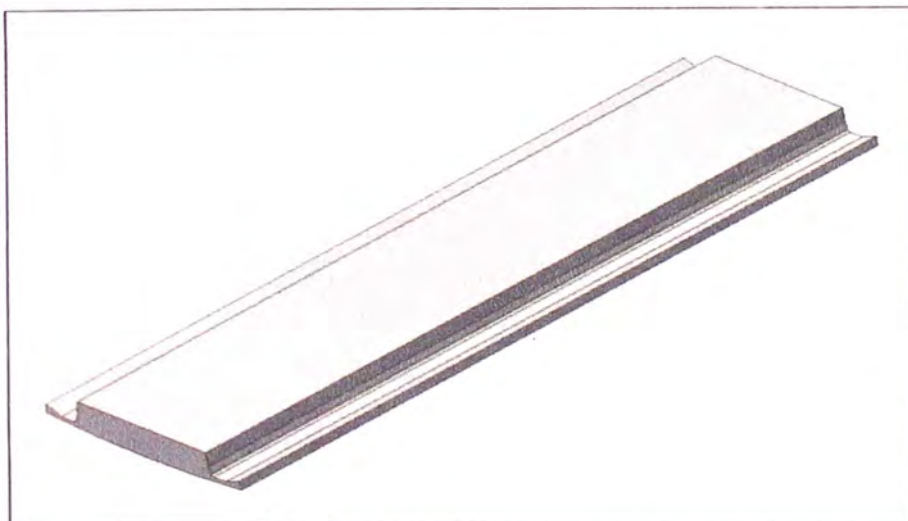


Fig. 4.12: Shell Plate 50-165-1300 (Caucho Puro)

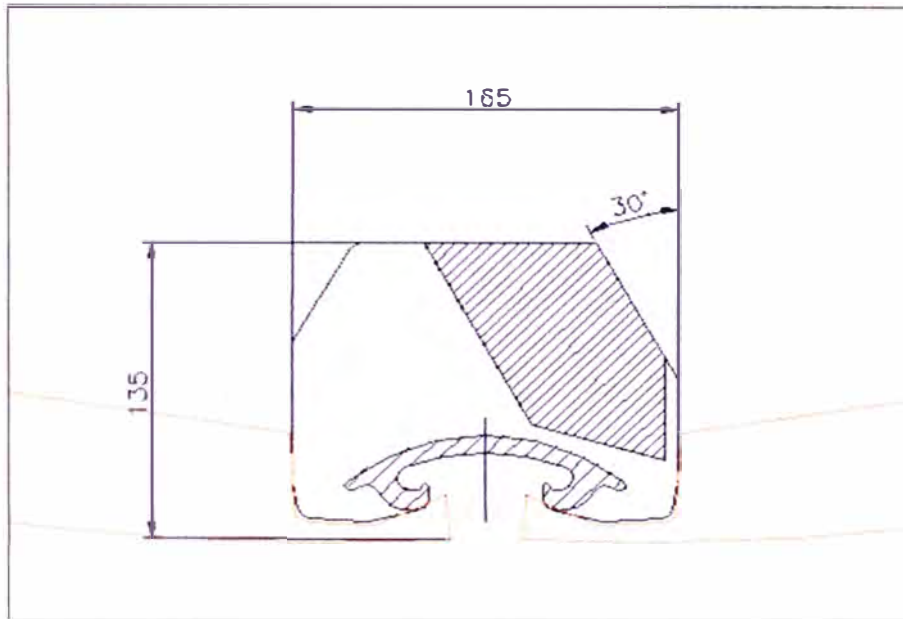


Fig. 4.13: Medidas generales del perfil de caucho acero

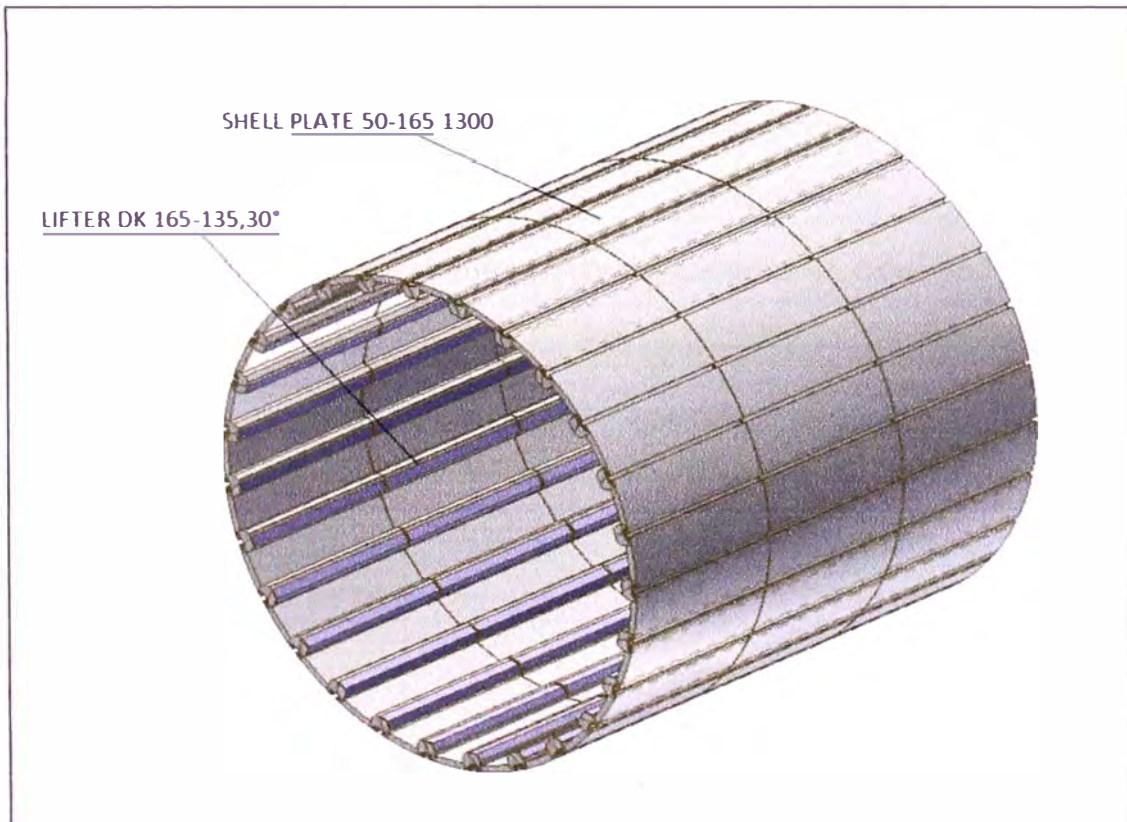


Fig. 4.14: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro

C. Análisis comparativo del revestimiento de Acero y Caucho - Acero

Calculamos los pesos unitarios y pesos totales de los 2 tipos de revestimientos para el cilindro del molino para efectos de comprobar los beneficios de las propiedades físicas del material seleccionado.(Ver tablas 4.2, 4.3, 4.4)

Tabla 4.2: Pesos de Revestimiento del Cilindro en Acero (Cr-Mo)

Pesos de Revestimiento del Cilindro en Acero (Cr-Mo)					
Descripción	Cant.	Densidad	Vol. Unit.	Peso Unit.	Peso Tot.
		(kg/m ³)	(m ³)	(kg)	(kg)
Coraza de fila 1	27.00	7,850.00	0.0382	300.00	8,100.00
Coraza de fila 2	27.00	7,850.00	0.0382	300.00	8,100.00
Coraza de fila 3	27.00	7,850.00	0.0382	300.00	8,100.00
Coraza de fila 4	27.00	7,850.00	0.0378	297.00	8,019.00
			Peso total(kg)		32,319.00
			vol. total (m³)		4.12

Tabla 4.3: Pesos de Revestimiento del Cilindro en Caucho-Acero

Pesos de Revestimiento del Cilindro en Caucho-Acero					
Descripción	Cant	Densidad	Vol. Unit.	Peso Unit.	Peso Tot.
		(kg/m ³)	(m ³)	(kg)	(kg)
Lifter Polymet 165-135	81.00	variable	0.0227	86.00	6,966.00
Shell Plate 50-165	81.00	1,250.00	0.0208	26.00	2,106.00
			Peso total(kg)		9,072.00
			vol. total (m³)		3.52

Tabla 4.4: Comparación de pesos consolidado de revestimientos

Comparación de pesos consolidado de revestimientos				
	Revestimiento	Revestimiento	Diferencia	eficiencia
	Acero Cr-Mo	Caucho-Acero		(%)
PESO TOTAL (kg)	32,319.00	9,072.00	23,247.00	72
VOLUMEN TOTAL (m ³)	4.12	3.52	0.60	15

D. Resultados del cálculo del peso

Como resultado del análisis comparativo, se observa que hay una diferencia de 23,247 kg. A favor del caucho acero gracias a la baja densidad que este presenta significando una eficiencia del 72%.

Con esto, las ventajas por la reducción del peso son:

1. Aumento de carga de bolas para obtener mayor eficiencia de molienda del 25% a 35% de volumen.
2. Considera una reducción del diámetro del Trunnión, ya que el nivel de bolas aumenta.
3. Elimina riesgo de fisura en la estructura del molino, esto gracias a las propiedades elásticas del material
4. Reduce riesgo de accidente, por la reducción del peso y hace fácil el manipuleo a la hora de la instalación.
5. Reduce el tiempo de montaje y desmontaje, ya que la unión de piezas de caucho no presenta micro soldadura como los aceros
6. Elimina el riesgo de desprendimiento por fractura, por sus propiedades elásticas.
7. Reduce el nivel de ruido.

4.3.4. ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE LOS ELEVADORES

Para analizar las trayectorias de bolas en el interior del molino probaremos 2 simulaciones el primero para el acero y la segunda simulación para el caucho con insertos de acero.

En cada simulación a su vez se harán para 2 casos uno para el 25% de nivel de bolas y otra al 35 % del nivel de bolas, luego compararemos las trayectorias de los elementos moledores y a su vez compararemos el material procesado en un año para obtener el costo del material utilizado para moler por tonelada.

Simulación 1: para revestimiento de acero del cilindro

Iniciamos recopilando los datos de condiciones de operación (Tabla 4.5), para luego ingresar al software 2D DEM.

Tabla 4.5. Condiciones de operación de revestimiento de acero

Client Data		Mill Charge Description		
Company	Empresa minera los Quenuales	Steel	Round	
Mine	yauliyacu	Ball s.g.	7.8	
Date	10-01-2012	% Ball in Charge	35	
Ref	MK	Number of Particles	1636	
Ore Type	Polimetalica			
Output frequency	0.01 seconds			
Mill Specification		Size	Ind	%ret
Mill Type	Secundario	2.5	in	36.1
Mill Diameter	12.5	2	in	41
Mill Length	13	1.5	in	22.9
Shell Plate Thickness	63.5	Simulation Specification		
High Lifters No.	54	Duration of the simulation		
Low Lifters No.		5 revolutions		
Mill Speed	16.5 rpm	Impact Energy Data: ore only		
Mill Inner Area	10.254			
Equivalent Diameter Inside Liner	3.613			
High Lifter Profile				
XY (Cartesian) Coordinates, Unit: mm				
	X	Y		
1	0	0		
2	20	7.04		
3	40	30.68		
4	60	48.9		
5	80	57.7		
6	100	60.5		
7	120	57.7		

Simulación 2D DEM

Ingresamos los datos al software 2D DEM, con los mismos perfiles geométricos y se realiza la simulación a 25% y a 35% del volumen de cargas de bolas.

El perfil seleccionado son perfiles circulares de radio 3" (76mm), y con espesores bajos de 2.5" y altura de levantador de 5", y así obtenemos las siguientes trayectorias (ver fig. 4.15 y 4.16):

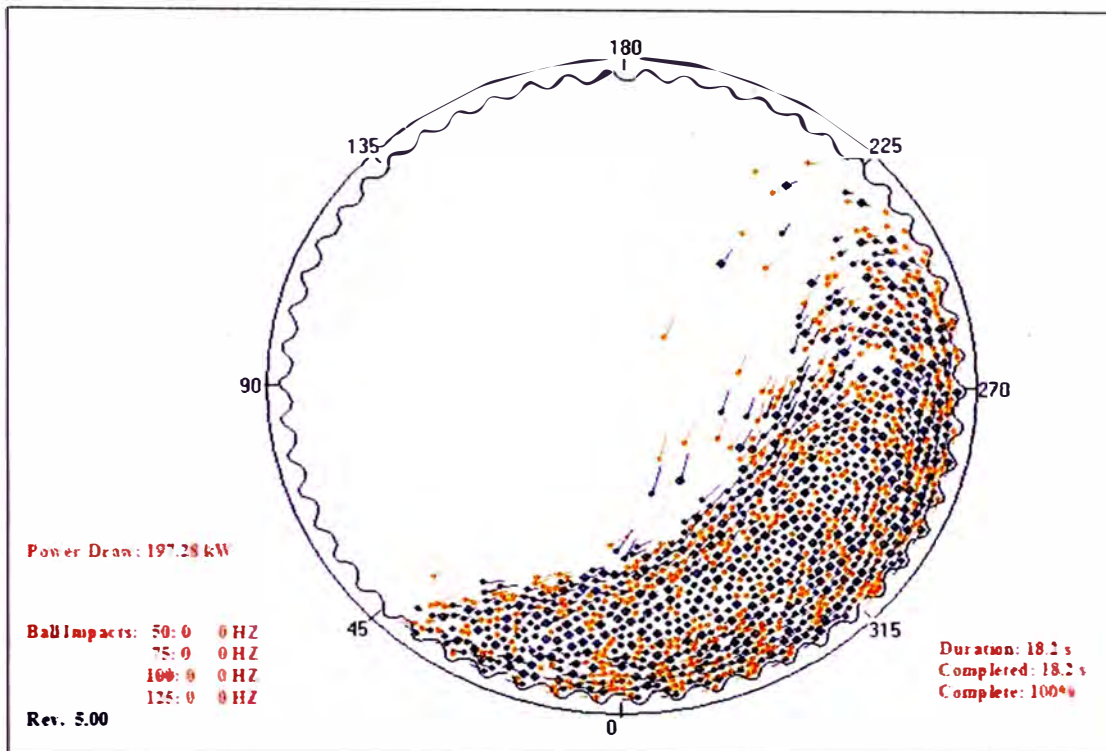


Fig. 4.15: Visualización en software de revestimiento de acero, Carga 25%

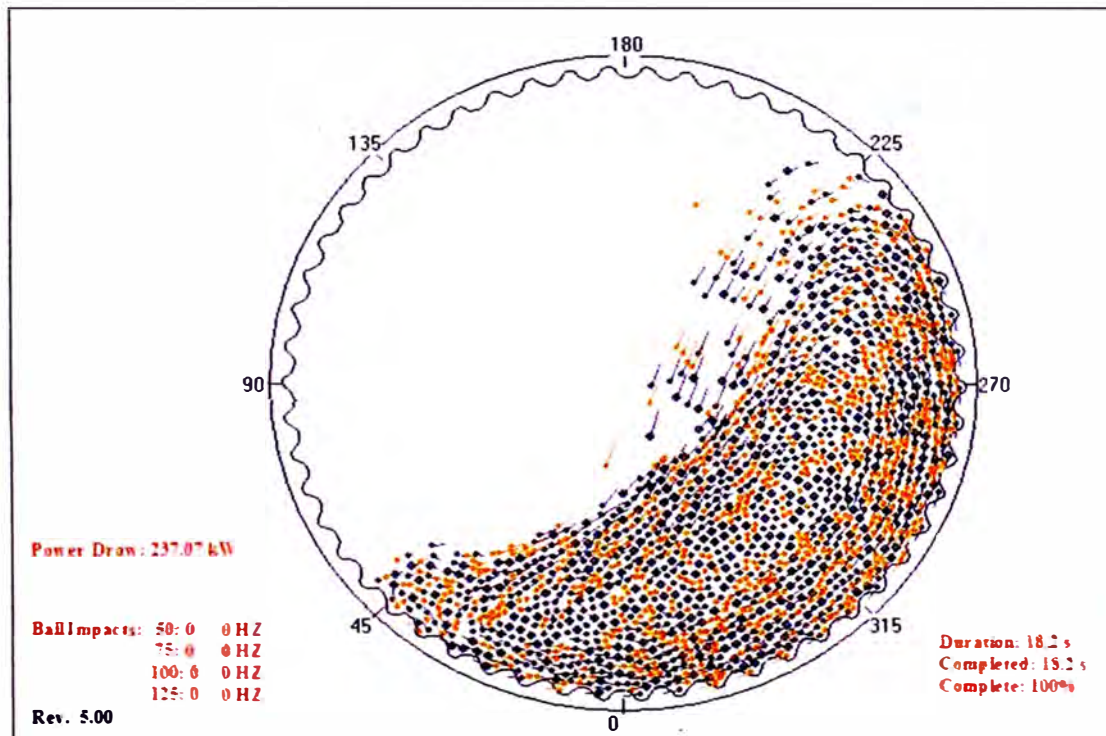


Fig. 4.16: Visualización en software de revestimiento de acero, Carga 35%

Simulación 2: para revestimiento de Caucho con insertos de acero

Al igual que la simulación 1 recopilamos los datos de condiciones de operación (Tabla 4.6), para luego ingresar los datos al software 2D DEM.

Tabla 4.6. Condiciones de operación de revestimiento de caucho-acero

Client Data		Mill Charge Description		
Company	Empresa minera los Quenuales	Steel	Round	
Mine	yauliyacu	Ball s.g.	7.8	
Date	05-01-2012	% Ball in Charge	35	
Ref	MK	Number of Particles	1661	
Ore Type	Polimetálica			
Output frequency	0.01 seconds			
Mill Specification		Size	Ind	%ret
Mill Type	Secundario	2.5	in	36.1
Mill Diameter	12.5	2	in	41
Mill Length	13	1.5	in	22.9
Shell Plate Thickness	50	Simulation Specification		
High Lifters No.	27	Duration of the simulation		
Low Lifters No.		5 revolutions		
Mill Speed	16.5 rpm	Impact Energy Data: ore only		
Mill Inner Area	10.459			
Equivalent Diameter Inside Liner	3.649			
High Lifter Profile				
XY (Cartesian) Coordinates, Unit: mm				
	X	Y		
1	0	0		
2	0	38		
3	26	85		
4	139	85		
5	165	38		
6	165	0		

Simulación 2D DEM

Ingresamos los datos al software 2d DEM, con los mismos perfiles geométricos pero simulamos a 25% y 35% del volumen de cargas de bolas.

El perfil seleccionado es el Lifter DK 165-135 ,30°, y así obtenemos las siguientes trayectorias (ver fig. 4.17 y 4.18):

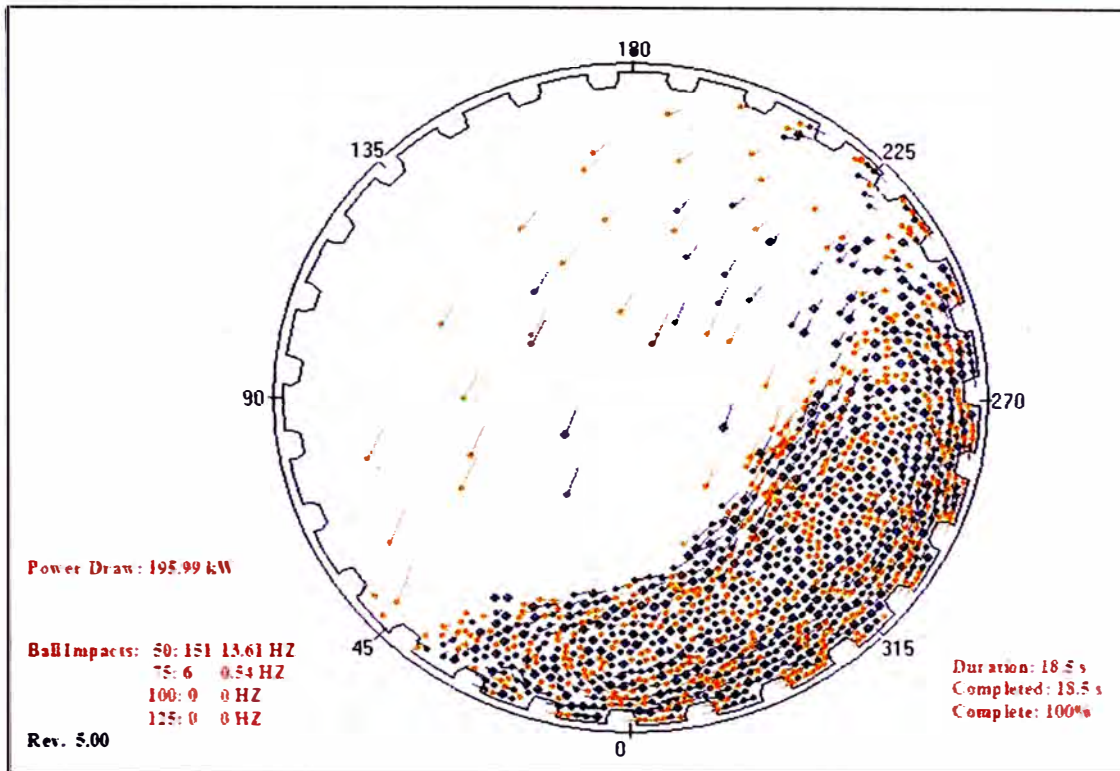


Fig. 4.17: Visualización en software de Rev. Caucho acero, Carga 25%

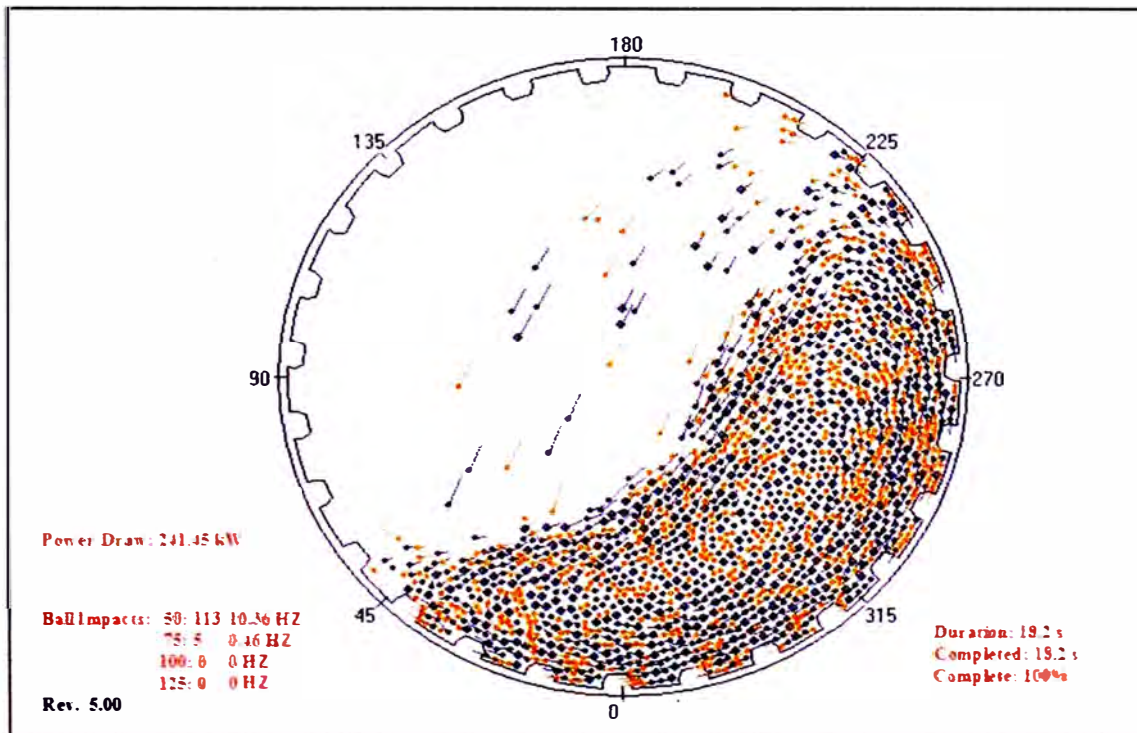


Fig. 4.18: Visualización en software de revestimiento caucho acero Carga 35%

Resultados de la simulación

Como resultado de la simulación, observamos que en los **revestimientos de acero** ya sea a 25% o 35% de carga, la zona de impacto no cae en el pie del riñón sino en la mitad del riñón, haciendo ineficiente la molienda por impacto o catarata y solo trabajando con la molienda por cascada.

En el caso de de los **revestimientos de caucho-acero** observamos que a una carga del 25% la zona de impacto cae sobre el casco del cilindro, dañando los revestimientos y acelerando el desgaste de los revestimientos. Luego también observamos que para una carga del 35% la zona de impacto cae sobre el pie del riñón formado la molienda por cascada y por catarata, siendo más eficiente y pasando mayor tonelaje procesado.

Según estos resultados obtenidos en el simulador, concluimos que los revestimientos más óptimos para estas condiciones de operación son los revestimientos de caucho-acero, con los perfiles de Lifter DK 165-135-30° y con un volumen de bolas del 35%, y así conseguir la mayor cantidad de mineral procesado. Se recomienda hacer un control periódico de la distribución de carga de bolas en el molino y un control de desgaste de los revestimientos de caucho para aproximar las fechas de recambio.

4.3.5. ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE DURACIÓN Y COMPARACIÓN DEL COSTO DEL PRODUCTO CONSUMIDO.

Después del uso de los 2 tipos de revestimientos estas tablas muestran los resultados obtenidos (Ver tablas 4. 7y 4.8).

Tabla 4.7: Comparación de Duración de Revestimientos.

Comparación de Duración de Revestimientos					
Referencia	Unidad	Revestimiento	Revestimiento	Diferencia	Oficien.
		Acero Cr-Mo	Polymet		%
Peso de juego completo	Kg.	32,319.00	9,072.00	23,247.00	72
Tiempo por cambio de juego	Hrs	36.00	28.00	8.00	22
Tonelada procesada x día	Ton	3,000.00	3,000.00	-	-
Duración de revestimientos	meses	12.00	16.00	4.00	25
Ton. Procesadas totales	Ton	1,080,000.00	1,440,000.00	360,000.00	25
Disponibilidad anual	%	95.00	95.00	-	-
Dureza de Material	BHN	380.00	600.00	220.00	37

Tabla 4.8: Comparación de Costos de Revestimiento y Toneladas Procesadas

Comparación de Costos de Revestimiento y Toneladas Procesadas					
Costos Estimados	Unidad	Revestimiento	Revestimiento	Diferencia	Eficien.
		acero Cr Mo	Polymet		%
Costo Juego de Rev.	US\$	90,493.20	46,740.00	43,753.20	48
Costo Detención Cambio Rev.	US\$	212,400.00	165,200.00	47,200.00	22
Costo Ton. Procesada x día	US\$	141,600.00	141,600.00	-	-
Costo Ton. Procesadas totales	US\$	50,976,000	67,968,000	16,992,000	33
Costo total del producto	US\$	302,893.20	211,940.00	90,953.20	30
Costo producto utilizado x Ton	US\$/Ton	0.28	0.15	0.13	48

4.3.6. RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN EN TIEMPO DE DURACIÓN Y PRODUCCIÓN.

Según el cuadro comparativo con los revestimientos de caucho acero tenemos mayor tiempo de duración de hasta 4 meses más que los revestimientos de acero Cr- Mo, Esto nos da menor costo efectivo del producto de 0.15 US\$/TON contra los revestimientos de acero que cuesta 0.28 US\$/TON procesada.

En relación a los revestimientos del molino de bolas, el tipo de material con el que se fabrican, es un factor determinante para el rendimiento del molino, ya que al aligerar el peso de este se aprovecha en aumentar el volumen de bolas y así pasar mayor carga fresca al molino.

Para mejorar el rendimiento del molino tanto en producción como en granulometría, es importante maximizar la potencia y reemplazar el diseño de acero de los revestimientos por revestimientos de caucho acero.

En general y luego de analizar toda la información disponible, concluimos que existen muchas oportunidades de mejora el cual uno de los más importantes son los revestimientos del molino, donde se puede cambiar material y sobre todo su actual configuración de perfil.

Finalmente, en el mismo reporte se hace un breve análisis de las trayectorias de bolas concluyendo que necesitan incrementar la molienda por impacto y para ello solicitan se cambien los actuales revestimientos de acero por revestimientos de caucho.

4.4. CASO 2:

DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DE CAUCHO-ACERO PARA MOLINO DE BOLAS Ø 13'X17'

Para este molino se busca aumentar la vida útil de los revestimientos del cilindro, para conseguir esto se hacen varias simulaciones con diferente altura de levantadores y a diferentes ángulos.

4.4.1. DATOS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN 1

- Diámetro Molino: 13 pies.
- Peso específico mineral: 2.92
- Diámetro Máximo de Bolas: 2.5" y 3" (Ver tabla 4.9)
- Carga Bolas: 42%
- Velocidad de giro: 15.7 rpm (se trabaja con el 75% de la velocidad crítica.)
- Revestimientos Utilizados:
 - Lifter CK 165-175-30°; Coraza 80mm (condición inicial del molino)
 - Lifter CK 165-132-30°; Coraza 60mm
 - Lifter CK 165-135-30°; Coraza 60mm
 - Lifter CK 165-145-30°; Coraza 60mm

Tabla4.9: Distribución de tamaño de bolas para las simulaciones

Tamaño	% Retenido Parcial	Tamaño	% Retenido Parcial
3.0"	31%	2.5"	36%
2.5"	39%	2.0"	41%
2.0"	20%	1.5"	23%
1.5"	11%		

4.4.2. SIMULACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN 1 EN SOFTWARE BTP

Simulando y analizando el resultado a estas condiciones de operación en EL software BTP se obtiene lo siguiente (Fig. 4.19):

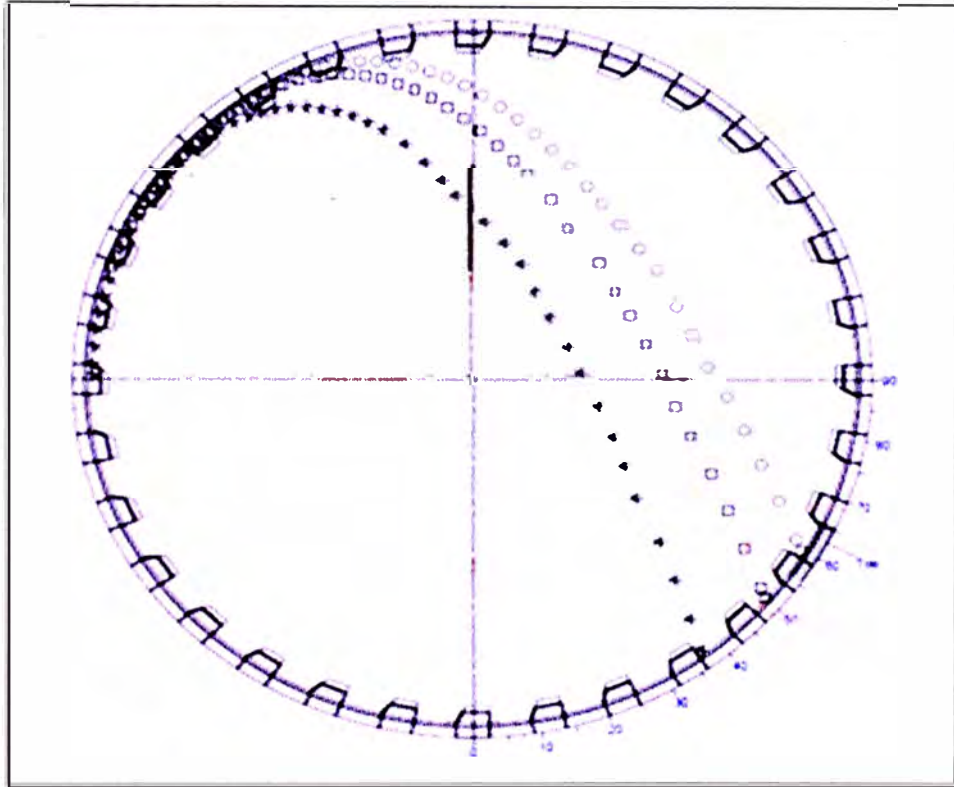


Fig. 4.19: Visualización de la simulación software BTP

Analizando los resultados gráficos concluimos:

- Los resultados de la simulación indican que el mejor levante se logra con el Lifter CK165-145 con punto de impacto de 60° (Tabla 4.10).
- Le sigue el lifterCK165-135 con punto de impacto de 50° .
- Tanto el lifterCK165-175 como el 165-132 tienen punto de impacto en 35° .
- Todas las caídas de bolas están dentro del pie del riñón, por lo tanto no se daña la coraza del cilindro.

Tabla 4.10: cuadro de variables de simulación en software BTP

<u>Design Variables</u>								
Units: Lifter: mm		Media: mm		Speed: rpm		Angle from face		
Key	Num	Width	Height	Angle°	H2A	A/B	Speed	Plate
×	1	165	175	30.0	60	2.4	15.70	60
+	2	165	132	30.0	60	3.2	15.70	60
□	3	165	135	30.0	95	2.9	15.70	60
○	4	165	145	30.0	60	2.6	15.70	60

4.4.3. SIMULACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN 1, EN SOFTWARE 2D DEM.

Con el software 2D DEM, A estas condiciones de operación tenemos (Ver fig. 4.20, 4.21 y 4.22):

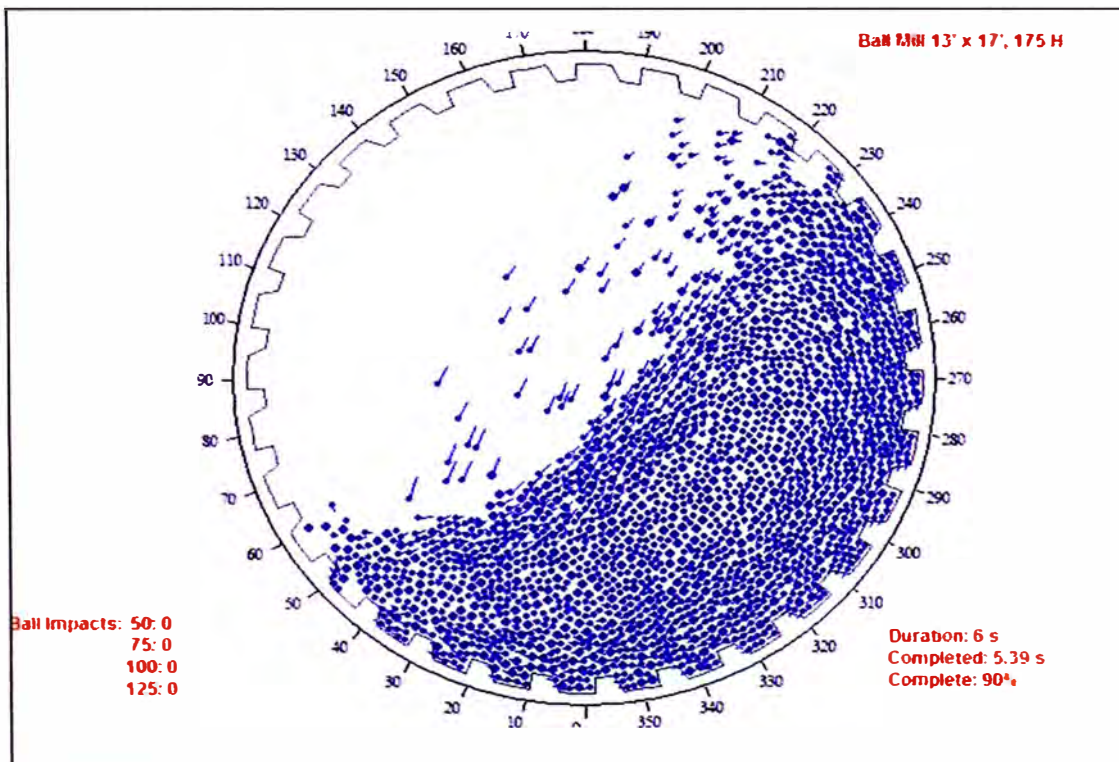


Fig. 4.20: Lifter 165-175-30°, Bolas 2.5" (condición inicial de operación).

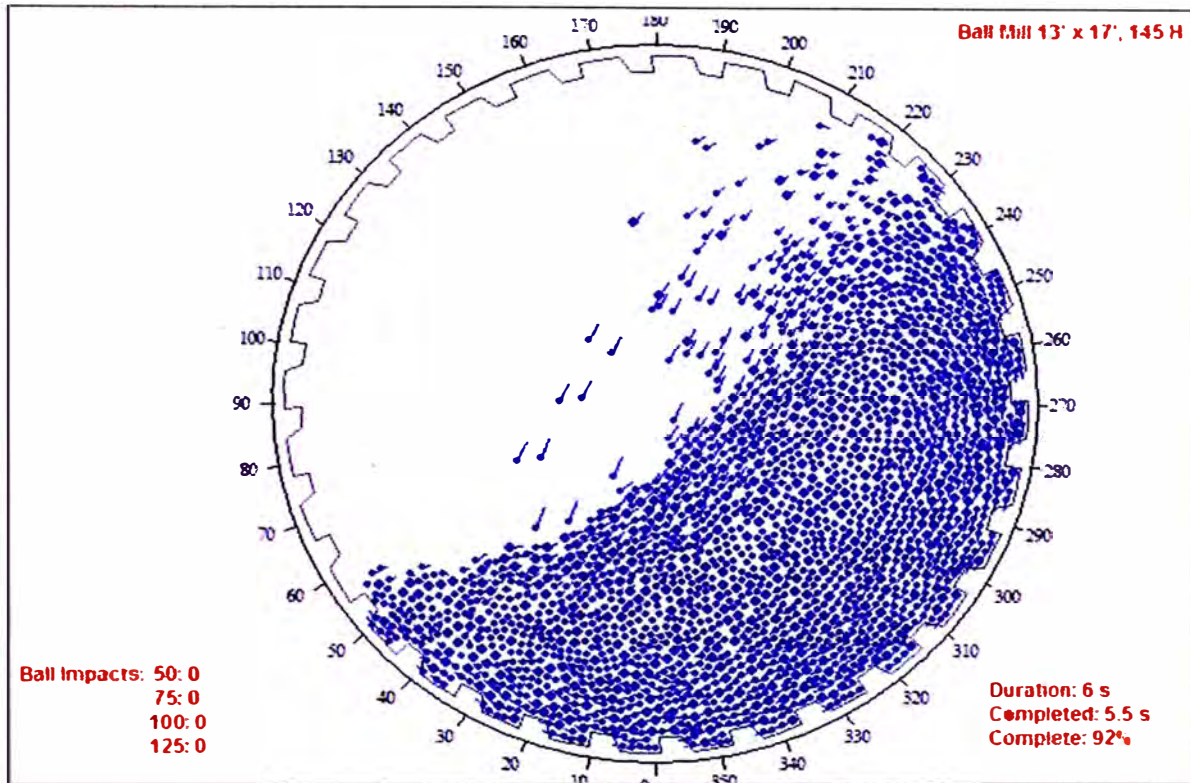


Fig. 4.21: Visualización en software de Lifter 165-145-30°, Bolas 2.5"

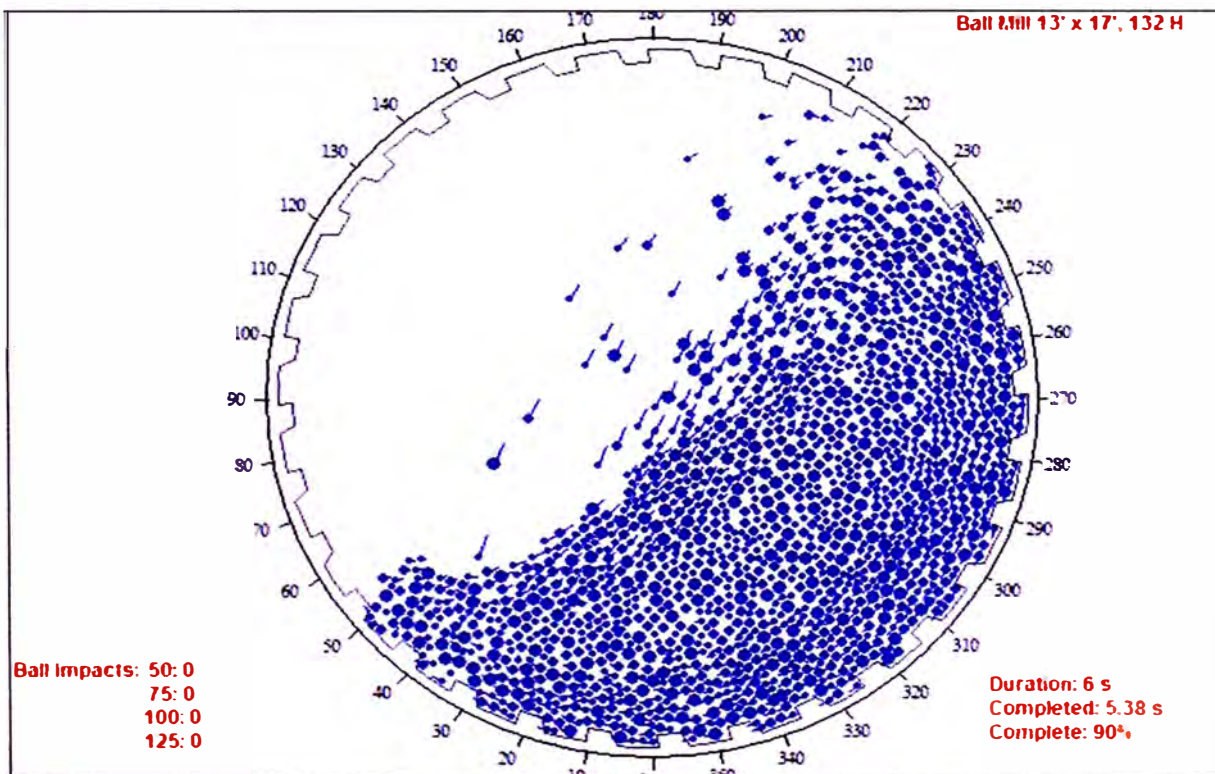


Fig. 4.22: Visualización en software de Lifter 165-135-30°, Bolas 3.0"

4.4.4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.

Los resultados de las simulaciones lo vemos en la tabla 4.11 y a continuación la interpretación de los resultados.

Tabla 4.11: Tabla de resultados de simulaciones

Tamaño máximo de bolas 2.5"				
mm	H=175 C=80	H=132 C=60	H=135 C=60	H=145 C=60
Consumo Potencia	100.0%	103.8%	102.8%	103.3%
Energía Impacto Sobre Mineral	100.0%	104.0%	103.1%	103.7%
Tamaño máximo de bolas 3.0"				
mm	H=175 C=80	H=132 C=60	H=135 C=60	H=145 C=60
Consumo Potencia	99.9%	105.1%	104.6%	104.4%
Energía Impacto Sobre Mineral	99.7%	104.3%	104.1%	104.0%
mm	H=175 C=80	H=132 C=60	H=135 C=60	H=145 C=60
Pérdida en volumen útil	11.5%	7.4%	8.3%	9.1%

C: Altura de Coraza de revestimiento H: Altura de Lifter de revestimiento

- El mejor rendimiento se lograría con un diseño de revestimiento Lifter 165-132-30° con coraza 60, que corresponde a un aumento de un 4% en la energía transmitida a las bolas y consumo de potencia.
- Esta condición mejora cuando el diámetro máximo de bolas aumenta a 3".
- El aumento en el consumo de potencia y en energía de impacto entre bolas se sustentaría principalmente por el aumento de un 4% en el volumen útil del molino.
- No descartar el revestimiento Lifter 165-145-30° con coraza 60, ya que también logra aumentos comparables en potencia y energía con la ventaja de dar mayor duración (Lifter más alto).
- Con estos resultados se paso a la fase de fabricación. (Ver anexo 7).

CONCLUSIONES

Habiendo demostrado que:

1. Usando el material combinado de caucho – acero el peso disminuye de 32,319 kg. a 9,072 kg. representando una eficiencia del 72% más.
2. Usando el material combinado de caucho–acero el tiempo de uso del revestimiento aumenta en 4 meses representado un eficiencia del 25% más contra los 12 meses que duraban comúnmente. Esto nos da menor costo efectivo del producto por tonelada de 0.28 US\$/Ton, a 0.15 US\$/Ton.
3. Usando los revestimientos combinados de caucho acero se mejora el tiempo de instalación en 28 horas contra las 36 horas usadas comúnmente en el cambio de los revestimientos del cilindro.
4. Usando los revestimientos de caucho acero, y aprovechando las propiedades físicas del caucho el ruido disminuye de 120 decibeles a 80 decibeles.

Se concluye que:

La utilidad de los revestimientos de caucho acero son mas óptimos que los revestimientos de acero Cr Mo.

RECOMENDACIONES

1. Tener presente que el diseño generado solo es para condiciones de operación específicas, y que si varían variables como (velocidad crítica, aumento de tamaño de alimentación, aumento de diámetro de bolas, mayor porcentaje de cargas de bolas), se debe realizar una nueva simulación.
2. Recomendamos efectuar controles de diagramas de desgaste a los revestimientos instalados el cual nos dará una proyección del reemplazo de los revestimientos y una mejora del diseño.
3. Antes de hacer el nuevo diseño verificar todas las medidas del cilindro y las tapas del molino por si este presenta desgaste considerable.
4. Siempre presentar un plano preliminar del nuevo diseño al cliente para su aprobación.
5. En general en los molinos, una subida de amperaje indica exceso de carga y una bajada del amperaje indica falta de mineral por lo que controlar estos parámetros nos ayuda a monitorear la carga.
6. El sonido nos señala la cantidad de carga dentro del molino y debe ser ligeramente claro. Si las bolas hacen un ruido muy serio es porque el molino está sobrecargado, por exceso de carga o poca agua. Si el ruido es excesivo es porque el molino está descargado o vacío por poca carga o exceso de agua.
7. Para molinos de diámetro 10 pies a más considerar una tolerancia de 1/4" en la separación de los revestimientos.

BIBLIOGRAFÍA

1. MANZANEDA CÁBALA, José. Procesamiento de minerales, ediciones 2000, Perú, (2004).
2. QUIROZ NÚÑEZ, Iván. Operaciones Unitarias en Procesamiento de Minerales, Ediciones UNI, Perú, (1997).
3. <http://www.monografias.com/trabajos87/analisis-granulometrico/analisis-granulometrico.shtml/tecnicasda>.

ANEXOS

ANEXO 1: Procedimiento general para detener y poner en marcha el proceso de molienda de molino SAG.

Informar detención a plantas cliente, proveedora y suministro eléctrico
Cortar adición de reactivos y cal desde panel de control
Detener los 3 alimentadores de correa de velocidad variable desde panel Control
Vaciar molino SAG a nivel adecuado
Cortar agua de alimentación desde panel de control
Limpiar harneros de correa alimentadora
Detener corra alimentadora a molino SAG desde panel de control
Detener funcionamiento de molino SAG desde panel de control
Detener harnero desde panel de control
Detener correa transportadora desde panel de control
Detener chancadoras de Pebbles desde panel de control
Cerrar alimentación de agua a cuba
Detener bomba de alimentación a hidrociclones
Detener circuito de lubricación de alta presión desde panel de control
Lavar molino de bolas con agua
Detener molino de bolas desde panel de control
Cortar alimentación de agua desde panel de control
Descargar pulpa de cuba a piso
Bloqueo de equipos mencionados
Informar partida de planta a plantas clientes, proveedora y suministro eléctrico
Desbloqueo de equipos mencionados
Dar partida bombas de alimentación de hidrociclones desde panel de control
Dar partida motores molino de bolas desde panel de control
Enganchar motores con molino de bolas desde panel de control
Dar partida sistema de lubricación de alta presión desde panel de control
Dar partida sistema de enfriamiento molino SAG
Resetear alarmas del motor del molino SAG
Dar partida de correas transportadoras
Dar partida de alimentador vibratorio
Dar partida chancadora de Pebbles
Dar partida harnero desde panel de control
Dar partida del molino SAG desde panel de control
Abrir válvula de alimentación de agua al molino SAG desde panel de control
Dar partida alimentadores de correa desde panel de control
Abrir válvulas de adición de reactivos y cal
Chequear variables de la operación
Resetear carga congelada de molino SAG

ANEXO 2: Procedimiento de control del proceso de molienda.

Leer reporte de turno anterior identificando las condiciones de operación y sus cambios
Registrar asistencia de operaciones
Dar charlas de seguridad a operadores
Confeccionar reportes de turno en computador
Calcular dosificación de reactivos , cal, alimentación de mineral y % sólidos promedio
Elaboración de reporte mensual
Chequear funcionamiento de operación al inicio de turno desde monitores tv
Chequear funcionamiento de operación desde monitores tv
Informar anomalías a mantenedores mecánicos, eléctricos, e instrumentistas
Informar a operaciones terreno las pautas de trabajo del turno
Verificar stock de insumos (bolas, cal, colectores y espumante)
Recepcionar abastecimiento de insumos
Chequear presión de descansos de molino SAG en panel de control
Chequear potencia consumo motor molino SAG en panel de control
Chequear % sólidos alimentación molino SAG panel de control
Chequear % sólidos alimentación molino de bolas en panel de control
Chequear velocidad molino SAG panel de control
Chequear dosificación de reactivos en el panel de control y terreno
Chequear PH alimentación SAG en el panel de control
Chequear flujo de pulpa de alimentación a hidrociclones en el panel de control y medir % sólidos en el Overflow
Chequear nivel de tolvas en el panel de control y terreno
Chequear presión de bombas de alimentación hidrociclones en panel de control
Chequear tonelaje, de Pebbles en panel de Control
Cheque Intensidad de contenido del motor Chancadora en panel de Control
Chequeo nivel de llenado (Bolas) de Molinos Bolas
Chequeo nivel de carga en harneros
Ajuste de abertura de descarga chancadora de Pebbles en panel de control
Ajustar velocidad de los tres alimentadores de correa a correa alimentadora SAG en panel
Ajustar flujo de agua alimentada a SAG en panel de control
Ajustar velocidad de rotación Molino SAG en panel de control
Ajustar dosificación de reactivos en panel de Control
Ajustar Flujo de agua alimentación cuba
Ajustar % de velocidad de bombas en panel de control
Abrir válvulas de alimentación a ciclones desde panel de control
Ajustar alimentación a Pebbles con alimentadores vibratorios en panel de control
Ajustar nivel de cuba en panel de control
Controlar evacuación del Molino SAG
Chequear el funcionamiento de las alarmas de emergencia (sonoras y luminosas)
informar a mantención eléctrica las alarmas detectadas en sala eléctrica
Leer los gráficos presentados en pantalla de la consola de operación
Autorizar ingreso de personal externo al área

ANEXO 3: Recomendaciones para la seguridad de personal y protección ambiental.

El operador y ayudante debe asegurarse que:

- Antes de ingresar al molino se deben seguir los procedimientos de bloqueo. (Llenar el formato de análisis de riesgo operacional, y el procedimiento escrito de trabajo seguro)
- Se limpien todos los derrames tan pronto como sea posible.
- Se reconozca cualquier alarma relacionada con los circuitos del molino de bolas o molinos SAG.
- En el área de molienda se obedece a todos los reglamentos de seguridad general y eléctrica. Con el fin de mejorar la seguridad en el trabajo, el personal debe estar correctamente capacitado, obedeciéndose las instrucciones de trabajo y seguridad emitidas por la empresa.
- También deben estar disponibles los manuales de operación de todos los equipos.
- Los visitantes solo podrán acceder a la planta en compañía de personal capacitado.
- Es necesario usar ropa de trabajo aprobada y equipos de seguridad en el área de la planta: Ropa y guantes de trabajo resistente al ácido y antiestático, Zapatos de trabajo con puntas de acero resistente al ácido y antiestático con protección contra peligro eléctrico, casco, gafas protectoras, protector auditivo y respirador.

ANEXO 4: Procedimiento y tabla de torque recomendados para elementos de sujeción de revestimientos de caucho.













PRODUCT SPECIFICATION SKEGA MILL LININGS

1.04 Recommended torque and installation procedure

1.04.1 Recommended torque values – Rubber and Poly-Met

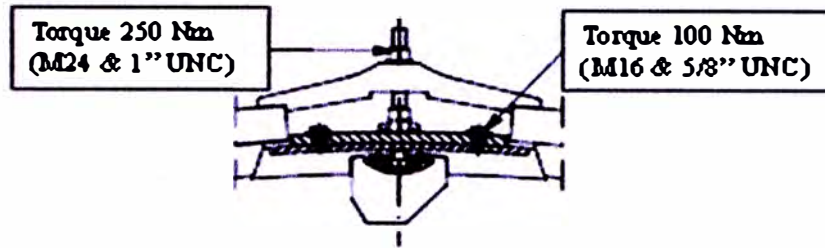
Torque values for lifter bar attachments

Table 1. Torque values for lifter bar attachments.

Bolt dimension		Recommended torque *		Attachment types
M	UNC	[Nm]	[ft.lb]	
M12	1/2"	70	50	H (DC)  M (DC) 
M16	5/8"	100	75	A (DC) 
M16	5/8"	150	110	L  M (DC)  R 
M20	3/4"	150	110	B (DC) 
M20	3/4"	300	220	K 
M24	1"	500	370	D  F 
M30	1 1/4"	700	510	F  G 

Notes: * Recommended torque is the minimum allowed for bolts of each diameter specified.
 Maximum torque not to exceed recommended torque +10% (M12-M20) or +20% (M24-M30).
 (DC) Detachable clamp – No banding, removable
 (FC) Fixed clamp – Clamp banded to rubber. All attachments except those designated (DC) in table 1.

Torque values for manhole covers



1.04.2 Cleaning and lubrication of bolts

Dirt and debris on mating threads will significantly reduce the attachment system pre-load regardless of whether the recommended torque is attained. The bolt threads must be cleaned after inserting the bolts through the mill shell and it is recommended that they be lubricated using grease or heavy oil before tightening the nuts. Lubrication of the contacting surfaces between the nut and cup washer is also suggested.

1.04.3 Recommended torque order

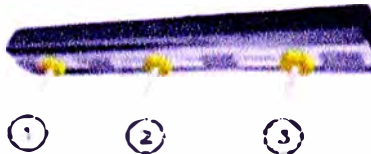
Torque order for Lifter Bar attachments

Poly-Met bars with 3 or more attachments (bolts) must be tightened in a specific order to achieve a correct and consistent bolt tension on all attachment points. Failure to follow these recommendations can result in bolt tension variations of 25% or more.

A specific torque order for the final tightening to reach recommended torque is required for Poly-Met bars with 3 or more attachment points. It is important to always tighten the middle attachments last. The torque must be applied in a sequence (between all bolts on same lifter) with at least 2 tightening cycles on each bolt to reach recommended torque.

Final torque order for P-M bars with 3 bolts is 1-3-2.

Final torque order for P-M bars with 4 bolts is 1-4-2-3



Rubber bars or Poly-Met bars with 1 or 2 attachments (bolts) are less sensitive to the order in which the bolts are tightened. The torque must however be applied in a sequence (between all bolts on same lifter) with at least 2 tightening cycles on each bolt to reach recommended torque.

Torque order for manhole covers

The torque must be applied in a sequence (between all pin bolts on same manhole cover) with at least 2 tightening cycles on each bolt to reach recommended torque.

1.04.4 Re-torque recommendations

Re-torque is required to compensate for settling & relaxation of attachment system components.

- In many cases it is sufficient to re-torque all nuts just prior to mill start-up, as most of the relaxation takes place within minutes from initial tightening.
- In the case of attachment systems using long bolts (as found on grate walls) additional re-torque is recommended to compensate for the self-adjustment / settling of components after the mill has been put into service. Since long bolts tend to act as torsion springs during tightening with impact tools, it is recommended that such assemblies be tightened at slow speeds and in the lubricated condition.

Table 2. Re-torque procedure for rubber and Poly-Met linings.

Part of mill Application type	- Feed end head - Shell - Discharge end head for overflow mills	- Grate discharge wall	- Diaphragm wall
AG and SAC Mills Primary Ball Mills Rubber +φ10'3 m Poly-Met all sizes Secondary Ball Mills Rubber +φ14'3 m Poly-Met all sizes	Prior to start up	Prior to start up and after 2-24 hours	Diaphragm walls not applicable for this application
Rod Mills (shell only)	Prior to start up	Grate discharge walls not applicable for this application	Diaphragm walls not applicable for this application
Other Mills	Not required (rubber) Prior to start up (P-M)	Prior to start up and after 2-24 hours	Prior to start up and after 1-4 days

1.04.5 Example of general arrangement drawing notes

General drawing note for all assembly drawings

Complete the following table with torque values from table 1 for the applicable bolt dimensions.

<i>Recommended torque for standard hex nuts (7.8 - 8.8 Grade 5):</i>	
M12	_____ Nm (or ft. lb)
M16	_____ Nm
M20	_____ Nm
M24	_____ Nm
Etc.	

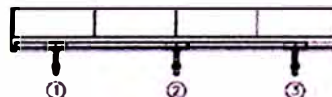
Torque must be applied in a sequence (between all bolts on same lifter) with at least 2 tightening cycles on each bolt to reach recommended torque.

Examples of additional drawing notes depending on application/lining type

Combine the following drawing notes depending on application/lining type.

- All lining attachments to be re-tightened to the recommended torque prior to mill start-up.
- Nuts on the discharge head to be re-tightened to the recommended torque following two (2) to 24 hours of mill operation.
- Nuts on diaphragm walls to be re-tightened to the recommended torque the following day or within four (4) days of mill operation.
- A specific torque order for the final tightening to reach recommended torque is required for Poly-Met bars with 3 or more attachment points. It is important to always tighten the middle attachments last.

Final torque order for P-M bars with 3 bolts is 1-3-2.
Final torque order for P-M bars with 4 bolts is 1-4-2-3



ANEXO 5: Especificación ASTM de hierro fundido blanco.



Designation: A 532/A 532M – 93a (Reapproved 1999)¹

Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons¹

This standard is issued under the fixed designation A 532/A 532M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

¹ Non-Keywords were added editorially in October 1999.

1. Scope

1.1 This specification covers a group of white cast irons that have been alloyed to secure high resistance to abrasive wear in the applications of the mining, milling, earth-handling, and manufacturing industries.

1.2 Simple and low-alloy white cast irons that consist essentially of iron carbides and pearlite are specifically excluded from this specification.

1.3 The values stated in inch-pound units or SI units are to be regarded separately as the standard. Within the text, SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- E 10 Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials;²
- E 18 Test Method for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Material;²
- E 92 Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials;²
- E 350 Test Method for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron;³
- E 351 Test Method for Chemical Analysis of Cast Iron—All Types;¹

3. Ordering Information

3.1 Orders for material in this specification should include the following information:

- 3.1.1 Quantity.
- 3.1.2 Specification number, class, and type.
- 3.1.3 Description of the casting, pattern number, or drawing.
- 3.1.4 Chilling of the casting, if required (see 4.2).

3.1.5 Heat treat condition (see 5.1).

3.1.6 Hardness level, if supplied hardened or hardened and stress relieved, and

3.1.7 Hardness method, Brinell, Rockwell, Vickers (see Section 9). If the hardness method is not specified, it shall be at the manufacturer's option.

4. Method of Manufacture

4.1 These alloys may be made by any suitable melting process.

4.2 If the casting is to be chilled or otherwise specially treated on any portion, the inquiry and the purchase order shall so state and a properly marked drawing of the casting will accompany both the inquiry and the purchase order.

5. Heat Treatment

5.1 The casting will be supplied in one of the following conditions:

- 5.1.1 As-cast.
- 5.1.2 As-cast and stress relieved.
- 5.1.3 Hardened.
- 5.1.4 Hardened and stress relieved, or
- 5.1.5 Softened for machining.

5.2 Unless otherwise specified by the purchaser, the manufacturer shall supply the castings in the heat treatment he deems best for the application.

5.3 If the heat treatment specified for delivered condition is not that of final use, it shall be the responsibility of the purchaser to provide the additional heat treatment.

5.4 Class II and Class III alloys are frequently ordered in the annealed condition with a maximum hardness of 400 HB. After machining operations are performed the castings may then be hardened. If both annealing and machining are to be performed by the manufacturer, as specified in the inquiry, contract, or order, the purchaser may then specify delivery in the hardened condition. If the purchaser specifies delivery in the annealed condition, subsequent hardening (and stress-relief, if it is desired) is the responsibility of the purchaser.

6. Chemical Composition

6.1 The composition of the metal of a class and type produced under this specification shall fall within the ranges:

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A-4 on Iron Castings and is the direct responsibility of Subcommittee A04.01 on Grey and White Iron Castings.

Current edition approved Jan. 15, 1993 and April 15, 1993. Published November 1993. Originally published as A 532-65 T. Last previous edition A 532-93.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.05.

ASTM A 532/A 532M

prescribed in Table 1 for that class and type.

6.2 Spectrographic, X-ray, or wet chemical laboratory techniques are acceptable for routine and control determinations, but shall be standardized against, and give essentially the same results as, the umpire methods specified in 6.3 of this specification.

6.3 In case of dispute, umpire determinations of the chemical analysis of the metal shall be made using ASTM standard methods detailed as follows:

6.3.1 The following is in accordance with Test Method E 351:

6.3.1.1 Carbon, Total by the Combustion Gravimetric Method

6.3.1.2 Chromium by the Peroxydisulfate-Oxidation Titrimetric Method

6.3.1.3 Copper by the Sulfide Precipitation-Electrodeposition Gravimetric Method

6.3.1.4 Manganese by the Peroxydisulfate-Arsenite Titrimetric Method

6.3.1.5 Nickel by the Dimethylglyoxime Gravimetric Method

6.3.1.6 Phosphorus by the Molybdenum Blue Photometric Method

6.3.1.7 Sulfur by the Combustion-Iodate Titration Method

6.3.2 The following is in accordance with Test Method E 350:

6.3.2.1 Molybdenum by the Photometric Method

7. Microstructure

7.1 The alloys covered by this specification are expected to have microstructures that consist essentially of carbides, martensite, bainite, austenite, and in exceptional cases minor amounts of graphite or pearlite.

7.2 The microstructure will not be routinely determined nor reported except in accordance with special agreement between the manufacturer and the purchaser, or in cases of dispute.

8. Hardness Requirement:

8.1 The castings shall conform to the hardness requirements specified in Table 2.

8.2 The hardness test shall be performed on the original surface of the casting or up to 1/16 in. (3 mm) below that surface.

9. Hardness Method

9.1 Perform the hardness test in accordance with one of the following methods to be specified by the purchaser:

9.1.1 Test Method E 10 (Brinell) using a tungsten carbide ball and 3000 kgf load.

9.1.2 Test Method E 18 (Rockwell) using a diamond cone penetrator, 150 kgf load, and the Rockwell C Scale, or

9.1.3 Test Method E 92 (Vickers).

10. Keywords:

10.1 abrasion resistant, alloyed cast iron, cast iron, white cast iron

TABLE 1 Chemical Requirements, Weight %

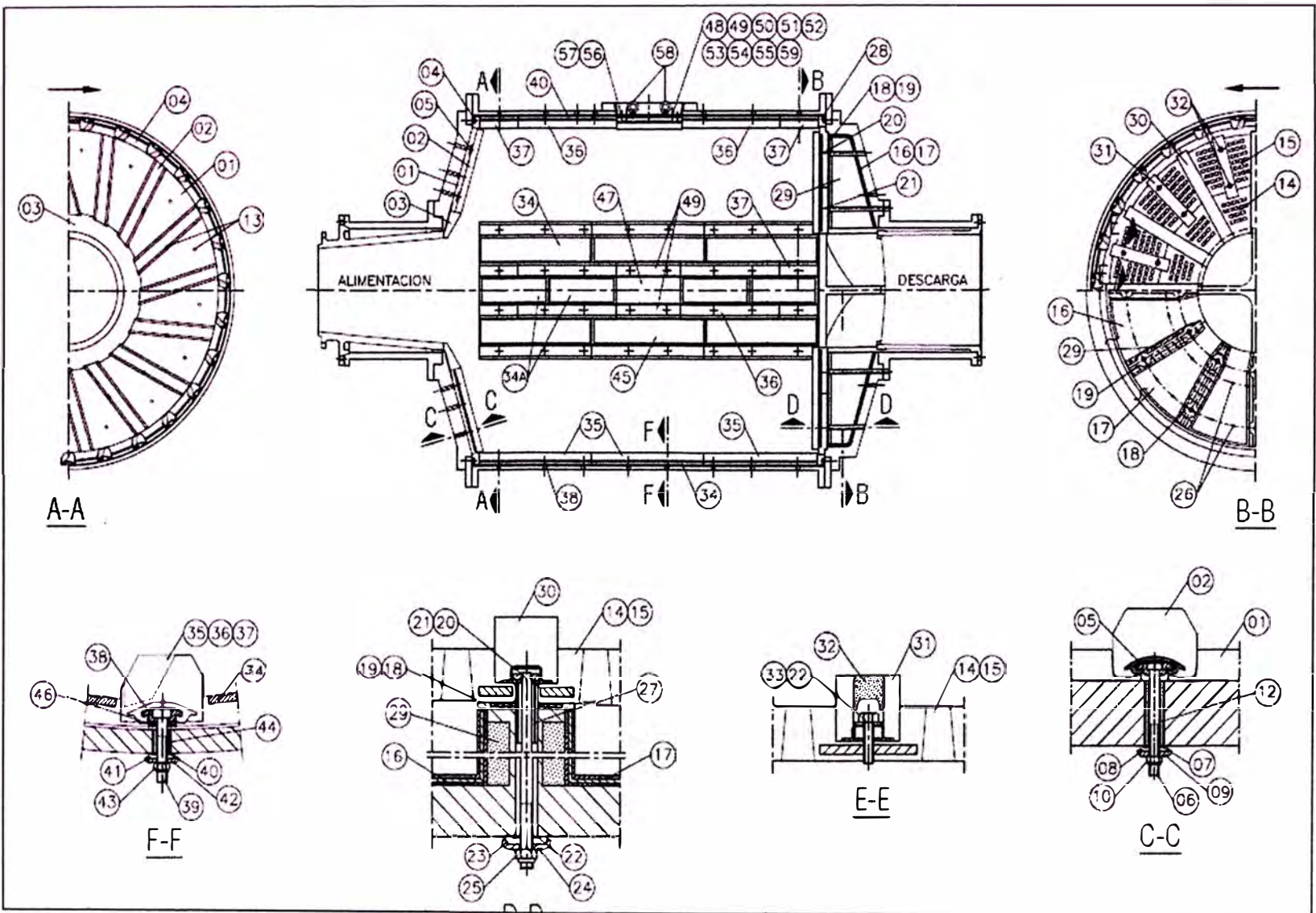
Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Fe	2.4-3.6	2.0 max	0.5 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max		0.3 max	0.15 max
	B	Ni-Cr-LC	2.4-3.0	2.0 max	0.5 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max		0.3 max	0.15 max
	C	Ni-Cr-GB	2.5-3.7	2.0 max	0.5 max	4.0 max	1.0-2.5	1.0 max		0.3 max	0.15 max
	D	Ni-HfCr	2.5-3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0-11.0	1.5 max		0.10 max	0.15 max
II	A	12% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0-14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
	B	15% Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0-18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
	D	20% Cr-Mo	2.0-3.3	2.0 max	1.0-2.2	2.5 max	15.0-23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25% Cr	2.0-3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	27.0-30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

TABLE 2 Hardness Requirements

Class	Type	Designation	Hardness Value HB												Typical Section Thickness			
			Sand Cast, min ^a									Chill Cast, min ^b				Softened, max		
			As Cast or As Cast and Stress Relieved			Hardened or Hardened and Stress Relieved												
						Level 1			Level 2									
	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV	HB	HRC	HV			
I	A	Ni-Cr-Fe	550	53	600	600	56	640	650	59	715	600	58	660				
	B	Ni-Cr-LC	550	53	600	600	56	640	650	59	715	600	58	660				
	C	Ni-Cr-GB	550	53	600	600	56	640	650	59	715	600	58	660	402	41	430	
	D	Ni-HfCr	550	53	640	600	56	660	650	59	715	550	53	600	400	41	430	
II	A	12% Cr	550	53	600	600	56	640	650	59	715	550	53	600	400	41	430	
	B	15% Cr-Mo	450	40	480	600	56	640	650	59	715	550	53	600	400	41	430	
	D	20% Cr-Mo	450	40	480	600	56	640	650	59	715	550	53	600	400	41	430	
III	A	25% Cr	450	40	480	600	56	640	650	59	715	550	53	600	400	41	430	

^a 50% of the minimum surface hardness level shall be maintained to a depth of 40% of the casting section, with any softer material being at the thermal center of the casting. A sampling procedure should be established by agreement between the supplier and the purchaser.

^b Nonchilled areas of casting shall meet minimum hardness or sand cast requirements.



ANEXO 6: Despiece del revestimiento del molino de bolas Marcy Ø12.5'x13'

Lista de partes del molino Marcy 12.5"x13"

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
TAPA DE ALIMENTACION (21 HILERAS)					
01	16		HEAD PLATE 60-165 BS	P-2177	16
02	16		LIFTER BAR 95-125 PMS L=1261	P-1354	16
03	01		CENTER BUNG (2PIZAS) REINFORCEMENT	P-4362A	01
04	16		PERNO G347254-30	P-4362A	16
06	32		CLAMP BLOCK P-165	21930	32
06	32		PERNO G347254-30	25353	32
07	32		FLAT WASHER	20017	32
08	32		RUBBER SEALING	40006	32
09	32		CUP WASHER	20023	32
10	32		NUT	25219	32
11	08		ESTOPA (MS)	80123	08
12	32		RUBBER BUSHING G3823-100	40018	32
13	32		RUBBER STOPPER G332540	P-0653	32

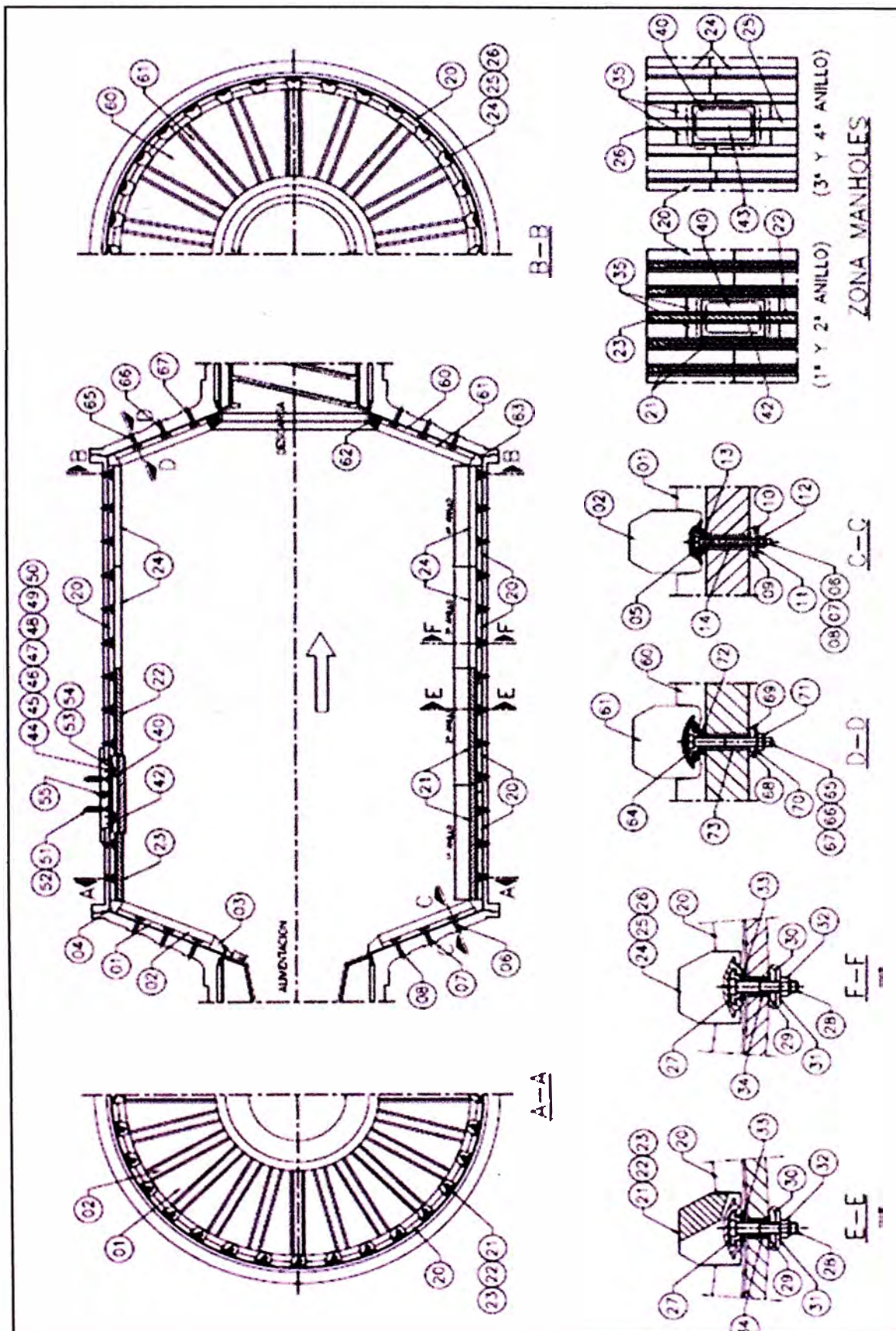
ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
TAPA DE RECARGA (12 HILERAS)					
14	12		GRATE PLATE INTERIOR REINFORCEMENT	P-2239	12
15	12		GRATE PLATE EXTERIOR REINFORCEMENT	P-2239	12
16	04		PAN LINER (IZQUIERDO) REINFORCEMENT	P-0804A	04
17	04		PAN LINER (DERECHO) REINFORCEMENT	PA-2068	04
18	06		CUBIERTA SUPERIOR DE MERVIO LARGO L=1260 REINFORCEMENT	P-0814	06
19	06		CUBIERTA SUPERIOR DE MERVIO CORTO L=1010 REINFORCEMENT	P-0819	06
20	12		CLAMP BLOCK P-165	P-5474A	12
21	12		CLAMP BLOCK P-165	P-5475A	12
22	48		FLAT WASHER	20002	48
23	24		RUBBER SEALING	40006	24
24	24		CUP WASHER	20023	24
25	24		NUT	25219	24

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
37	12		LIFTER POLYMET BAR 165-135 DO L=1425 REINFORCEMENT	PA-1081	12
38	204		CLAMP BLOCK D-210	20966	204
39	204		PERNO G171127-80	25214	204
40	204		FLAT WASHER	20004	212
41	204		RUBBER SEALING	40007	212
42	204		CUP WASHER	20023	212
43	204		NUT	25219	224
44	204		RUBBER BUSHING G3823-100	40012	212
45	04		SHELL PLATE AT MASH-HOLE POLYMET REINFORCEMENT	P-3381A	04
46	204		ANTI-WASHING SEAL	PA-2173	212
MASH-HOLE COVER (8 SE.)					
47	03		MASH-HOLE PLATE REINFORCEMENT	P-3379	03
48	03		TAPA DE MASH-HOLE	PA-254	03
49	04		LIFTER POLYMET BAR 165-135 DO	PA-1082	04

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
26	36		RUBBER STOPPER G332540	P-0653	36
27	24		RUBBER BUSHING G3823-100	40012	24
28	16		AVILLO PERFORADO 95-125 L=745.710	P-4501	16
29	24		RELLENO DE MERVIO	P-0819	24
30	12		LIFTER BAR 125-125 PMS L=1250	P-1471	12
31	12		LIFTER BAR 125-125 PMS L=1476	P-1472	12
32	24		RUBBER STOPPER G25850	P-0774	24
33	24		PERNO G347254-30	25353	24
CILINDRO (27 HILERAS)					
34	66		SHELL PLATE POLYMET ED-1685 L=1700 REINFORCEMENT	P-3468	66
34A	12		SHELL PLATE POLYMET ED-1685 L=780 REINFORCEMENT	P-3462	12
35	63		LIFTER POLYMET BAR 165-135 DO L=1700 REINFORCEMENT	PA-1079	63
36	12		LIFTER POLYMET BAR 165-135 DO L=1400 REINFORCEMENT	PA-1080	12

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
50	12		L=780		
51	12		CLAMP BLOCK D-210	20966	12
52	12		PERNO G171127-80	25214	12
53	12		FLAT WASHER	20004	12
53	12		RUBBER SEALING	40007	12
54	12		CUP WASHER	20023	12
55	12		NUT	25219	12
56	24		FLAT WASHER	20016	24
57	24		SCREW	25065	24
58	26		LIFT EYE	800113	26
59	12		ANTI-WASHING SEAL	P-0919	12

ANEXO 7: Despiece del revestimiento del molino de bolas $\phi 13'x17'$



Lista de partes del molino de bolas ø13'x17'

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
TAPA DE ALIMENTACION (24 MILERAS)					
01	24		HEAD PLATE 60-85	P-2285	24
02	24		LIFTER BAR 140-160 FLS L=1050	P-1804	24
03	01		CENTER RING (3PZAS) REINFORCEMENT	P-4581B	01
04	10		FILLING SEGMENT 160-140 L=1272	P-4579	10
05	72		CLAMP BLOCK L-100	210940	72
06	24		PERNO Ø5.8"x222-127	15-166	24
07	24		PERNO Ø5.8"x245-127	15-209	24
08	24		PERNO Ø2.6"x34-102	15-101	24
09	72		FLAT WASHER	200030	72
10	72		RUBBER SEALING	400002	72
11	72		CUP WASHER	200021	72
12	72		NUT	250186	72
13	72		ANTI WASHING SEAL 80x50x15	PA-0041A	72

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
14	72		RUBBER BUSHING Ø38.23x120	400119	72
15	03		ESTOPA (1KG)	801729	03

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
CILINDRO (32 MILERAS)					
20	124		SHELL PLATE 60-85 L=1263	P-3545A	124
21	62		POLYMET LIFTER BAR 165-140 DD L=1320 REINFORCEMENT	P-1806	62
22	01		POLYMET LIFTER BAR 165-140 DD L=1160 REINFORCEMENT	P-1267	01
23	01		POLYMET LIFTER BAR 165-140 DD L=605 REINFORCEMENT	P-1809	01
24	62		LIFTER BAR 165-140 DD L=1145	P-1870	62
25	01		LIFTER BAR 165-140 DD L=784	P-1872	01
26	01		LIFTER BAR 165-140 DC L=631	P-1873	01
27	412		CLAMP BLOCK D-210	206566	412
28	412		PERNO Ø1"x140-102	15-096	412
29	412		FLAT WASHER	200034	412
30	412		RUBBER SEALING	400007	412

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
31	412		CUP WASHER	200025	412
32	412		NUT	250190	412
33	412		ANTI WASHING SEAL 80x50x15	PA-0173	412
34	412		RUBBER BUSHING Ø38.23x40	400112	412
35	04		SHELL PLATE AT MAN-HOLE REINFORCEMENT	P-3546	04

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
MANHOLE COVER (02EA)					
40	01		MAN-HOLE PLATE REINFORCEMENT	P-3547	02
41	01		FIXING PLATE	PB-6053	02
42	01		POLYMET LIFTER BAR 165-140 DD L=875	P-1808	01
43	01		LIFTER BAR 165-140 DD L=875	P-1871	01
44	02		CLAMP BLOCK D-210	206566	04
45	02		PERNO Ø1"x140-102	15-096	04
46	02		FLAT WASHER	200034	06
47	02		RUBBER SEALING	400007	04

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
48	02		CUP WASHER	200025	04
49	02		NUT	250190	06
50	02		ANTI WASHING SEAL 80x50x15	PA-0173	04
51	02		DOG L=485	PB-6054	04
52	02		STUD BOLT L=260	200430	04
53	06		FLAT WASHER	200034	12
54	06		SCREW	250062	12
55	01		LIFT EYE	600413	02

ITEM	CANT	DIBUJO	DESCRIPCION	# DE ARTICULO	TOTAL
TAPA DE DESCARGA (18 MILERAS)					
60	18		HEAD PLATE 60-85	P-2234	18
61	16		LIFTER BAR 165-150 FKS L=1047	P-1805	16
62	01		CENTER RING (3 PZAS) REINFORCEMENT	P-4582	01
63	10		FILLING SEGMENT 150-140 L=1272	P-4580	10
64	54		CLAMP BLOCK K-165	210930	54

ANEXO 8: Relación de figuras, tablas y fórmulas**FIGURAS**

- Fig.2.1: Flujograma de tratamiento para la concentración de minerales.
- Fig.2.2: Espesador Denver.
- Fig.2.3: Filtro Prensa Acs De 80 Ft³.
- Fig.2.4: Partes principales del molino de bolas.
- Fig.2.5: Bolas de acero de 4"y 5".
- Fig.2.6: Molino de barras.
- Fig.2.7: Molino de bolas.
- Fig.2.8: Molino SAG.
- Fig.2.9: Dirección del flujo en el molino SAG.
- Fig.2.10: Diámetro de tamaño de partícula.
- Fig.2.11: Tamices de laboratorio.
- Fig.2.12: Mecanismos presentes en conminución.
- Fig.2.13: Métodos de Fractura.
- Fig.2.14: Trayectoria de bolas adecuado.
- Fig.2.15: Trayectoria de bolas inadecuado.
- Fig.2.16: Variables de un molino.
- Fig.2.17: Controlador de peso y tamaño de partículas.
- Fig.2.18: Cuadro figurativo de la alimentación de agua del molino.
- Fig.2.19: Medios de molienda para molinos de bolas.
- Fig.2.20: Curva de relación de potencia vs. volumen de carga.
- Fig.2.21: Propiedades del caucho según su estado.
- Fig.2.22: Ejemplos de curvas reométricas de mezclas 75:25 NR: SBR.
- Fig.2.23: Efecto de las fuerzas mecánicas en elementos rígidos.

Fig.2.24: Efecto de las fuerzas mecánicas en elementos de goma.

Fig.2.25: Efecto del ángulo de impacto sobre el desgaste del revestimiento de goma.

Fig. 3.1: Molino SAG 32x34-Yanacocha atascamiento de bolas en parrillas de descarga.

Fig. 3.2: Molino de bolas 24x35.5-Antamina (quiebre de revestimiento de la tapa de alimentación).

Fig. 3.3: Revestimiento de tapa quebrado.

Fig. 4.1: Comparación de parrilla de acero con parrilla de caucho.

Fig. 4.2: Tapa de alimentación revestido en caucho (no presenta quiebre).

Fig. 4.3: Cilindro de molino revestido en caucho (Menos aberturas entre piezas).

Fig. 4.4: Componentes de caucho para revestimiento de molinos.

Fig. 4.5: Tipo de levantadores para revestimiento de molinos.

Fig. 4.6: Medidas de levantadores para revestimiento de molinos.

Fig. 4.7: Sistema estándar de fijación de levantadores –Lifter.

Fig. 4.8: Corazas de acero Cr-Mo del cilindro –Molino 12.5x13.

Fig. 4.9: Medidas generales del perfil de acero.

Fig.4.10: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro.

Fig. 4.11: Lifter DK 165-135 30° (caucho acero) longitud: 1310mm.

Fig. 4.12: Shell Plate 50-165-1300 (caucho puro).

Fig. 4.13: Medidas generales del perfil de caucho acero.

Fig. 4.14: Vista de ensamble de los revestimientos del cilindro.

Fig. 4.15: Visualización en software de revestimiento de acero, carga 25%.

Fig. 4.16: Visualización en software de revestimiento de acero, carga 35%.

Fig. 4.17: Visualización en software de revestimiento caucho acero, carga 25%.

Fig. 4.18: Visualización en software de revestimiento caucho acero carga 35%.

Fig. 4.19: Visualización de la simulación en software BTP

Fig. 4.20: Lifter 165-175-30°, bolas 2.5" (condición inicial de operación)

Fig. 4.21: Visualización en software de Lifter 165-145-30°, bolas 2.5"

Fig. 4.22: Visualización en software de Lifter 165-135-30°, bolas 3.0"

TABLAS

Tabla 2.1: Tabla serie de tamices estándares usa /Tyler/international.

Tabla 2.2: Relación de energía – tamaño de partícula.

Tabla 2.3: Cuadro comparativo de la molienda.

Tabla 2.4: Comparación de propiedades de los cauchos.

Tabla 2.5: Propiedades típicas de aceros y cauchos.

Tabla 4.1: Cuadro de recarga de bolas.

Tabla 4.2: Pesos de revestimiento del cilindro en acero (Cr-Mo).

Tabla 4.3: Pesos de revestimiento del cilindro en caucho-Acero.

Tabla 4.4: Comparación de pesos consolidado de revestimientos.

Tabla 4.5. Condiciones de operación de revestimiento de acero.

Tabla 4.6. Condiciones de operación de revestimiento de caucho-acero.

Tabla 4.7: Comparación de duración de revestimientos.

Tabla 4.8: Comparación de costos de revestimiento y toneladas procesada.

Tabla 4.9: Distribución de tamaño de bolas para las simulaciones.

Tabla 4.10: Cuadro de variables de simulación en software BTP.

Tabla 4.11: Tabla de resultados de simulaciones.

FÓRMULAS

Fórmula 2.1: Velocidad crítica.

Fórmula 2.2: Diámetro máximo de las bolas.

Fórmula 2.3: Volumen de carga.