

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS PARA LA CORPORACION

MINERA ANANEA S.A.

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. DAYSI CHAMBI CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO METALURGISTA

Puno – Perú

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA

**“DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS PARA LA CORPORACION MINERA
ANANEA S.A.”**

TESIS

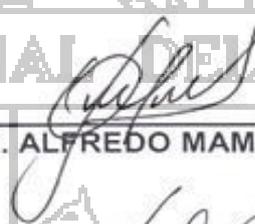
PRESENTADO POR:

Bach. DAYSI CHAMBI CONDORI

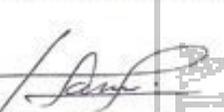
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA

APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:

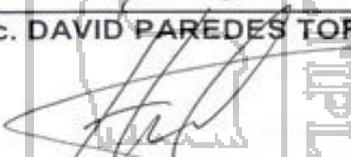
PRESIDENTE


M.Sc. ALFREDO MAMANI CANQUI

PRIMER MIEMBRO


M.Sc. DAVID PAREDES TORRES

SEGUNDO MIEMBRO


Ing. HUGO FERNÁNDEZ OCHOA

DIRECTOR DE TESIS


Dr. DANTE SALAS AVILA

ASESOR DE TESIS


M.Sc. DALMIRO CORNEJO OLARTE

Puno – Perú
2015

ÁREA: Metalurgia extractiva
TEMA: Dibujo de reactivo

DEDICATORIA

*A mis padres don Pepe Chambi Luque
y a mi madre doña Martha Condori
Quispe, quienes me dieron Su apoyo
moral y material en todo momento.*



*A la juventud estudioso para que oriente
siempre su vida por hacer de nuestro
una nación grande y prospera.*

AGRADECIMIENTO

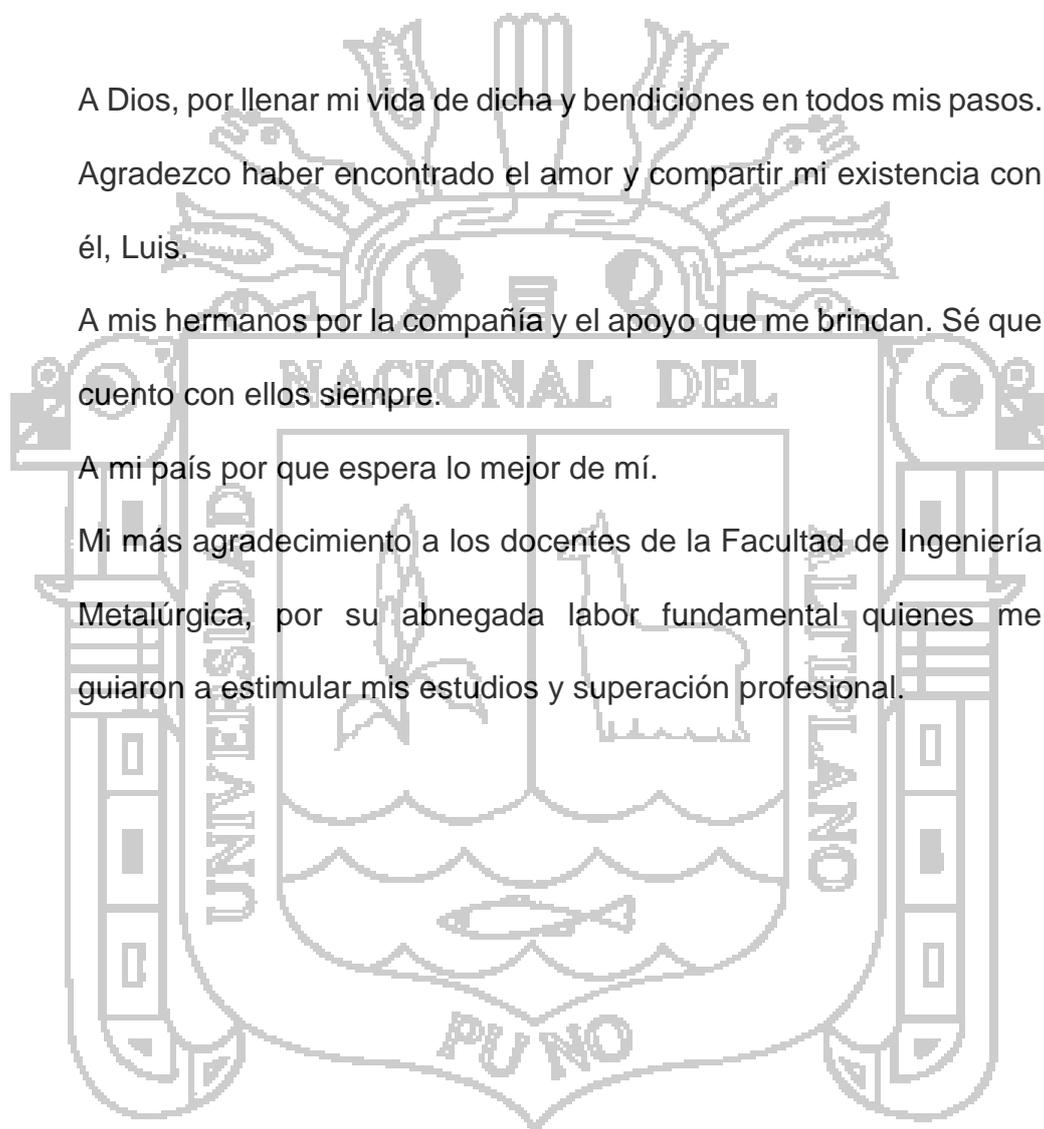
A Dios, por llenar mi vida de dicha y bendiciones en todos mis pasos.

Agradezco haber encontrado el amor y compartir mi existencia con él, Luis.

A mis hermanos por la compañía y el apoyo que me brindan. Sé que cuento con ellos siempre.

A mi país por que espera lo mejor de mí.

Mi más agradecimiento a los docentes de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica, por su abnegada labor fundamental quienes me guiaron a estimular mis estudios y superación profesional.



INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCION	

CAPITULO I**PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION**

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	15
PROBLEMA GENERAL	15
PROBLEMAS ESPECIFICOS	15
1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
1.4 GEOGRAFIA	17
1.4.1 Ubicaci3n del proyecto	17
1.4.2 ACCESIBILIDAD	18
1.4.3 DISTANCIA	19
1.4.4 DRENAJE Y RECURSOS HÍDRICOS	19
1.5 CORPORACION MINERA ANANEA S.A.	20
1.5.1 Descripci3n General Planta	20

CAPITULO II**FUNDAMENTO TEORICO**

2. Molinos	21
2.1 Movimiento de la carga en molinos	22
2.2 Partes principales de un molino	23
2.2.1 Factores que afectan la eficiencia de molienda	25
2.2.2 Volumen de llenado del molino	26

2.2.3 Circuitos de molienda y clasificación.....	27
2.2.4 Circuito cerrado de molienda y clasificación.....	28
2.3 Molino de bolas.....	29
2.3.1 Operación.....	34
2.3.2 Eficiencias del molino.....	40
2.3.3 Parámetros del molino.....	41
2.3.4 Selección del molino.....	43
2.3.5 Capacidad y consumo de energía.....	44
2.3.6 Motor y transmisión.....	45
2.4 Equipos patentados.....	46
2.5 Métodos de molienda.....	47
2.5.1 Molienda planetaria de bolas.....	47
2.5.2 Clasificadores en seco.....	48
2.5.3 Las aletas rotatorias.....	50
2.6 Molinos de martillos.....	51
2.6.1 Molinos de martillos sin clasificadores de aire internos.....	52
2.6.2 Molinos Fitz.....	54
2.6.3 Molinos de martillos con clasificadores de aire internos.....	55
2.7 Molinos de clavijas.....	56
2.8 Molinos de impacto.....	57
2.8.1 Molinos Kollopex.....	57
2.8.2 Molinos de impacto Entoleter.....	58
2.9 Molinos de anillo y rodillo.....	58
2.9.1 Molinos de anillo y rodillo sin clasificación interna.....	60
2.9.2 Molinos de anillo y rodillo con clasificación interna por tamices... ..	60
2.9.3 Molinos de anillo y rodillo con clasificación interna por aire.....	61
2.9.4 Molino de anillo y rodillo Raymond.....	62
2.9.5 Molino Raymond de anillo y rodillo con clasificación interna por aire.	62
2.9.6 Molino de anillo y rodillo Williams.....	63
2.10 Molinos de taza.....	63
2.11 Molinos de frotamiento por discos.....	64
2.11.1 Molino de dos discos.....	65

2.11.2 Trituradora Frigidisc.....	68
2.11.3 Molinos de piedra o muelas de asperón.....	69
2.11.4 Molinos de piedra o de muelas para "molienda de pintura".....	69
2.12 Molinos de dispersiones y coloides.....	69
2.12.1 Molinos de coloides para dispersión y emulsificación.	71
2.12.2 Molino Premier.	72
2.12.3 Molino Charlotte.	73
2.12.4 Molino modelo W-10.....	73
2.12.5 Molino Gaulin.....	74
2.12.6 Molino Manton-Gaulin.....	74
2.13 Molinos hidráulicos o de chorro.....	74
2.13.1 Molino Micronizer.....	75
2.13.2 Pulverizador de chorro.....	77
2.13.3 Molino Jet-O-Mizer.....	77
2.13.4 Molino de aire Trost de la Colt Industries.....	77

CAPITULO III

DISEÑO DEL MOLINO DE BOLAS

3.1 Cálculo de capacidad.....	80
3.2 Cálculo de potencia del motor.....	81
3.3 Selección del reductor de velocidad.....	81
3.4 Expresión de Dawn para dimensionamiento del molino.....	82
3.5 Cálculo de velocidad del molino.....	82
3.6 Volumen de carga y peso de la bola.....	82
3.7 Velocidad crítica de rotación.....	83
3.7.1 Cantidad y tipo de cuerpos moledores distribuidos en la cámara de molienda.	85
3.8 Consideraciones de llenado.....	85

CAPITULO IV**DISEÑO DE LA TRANSMISION DEL MOLINO DE BOLAS**

4.1	Diseño de la Transmisión.....	87
4.1.1	Cálculo de engranes rectos.....	87
4.1.2	Cálculo de la geometría de los engranes.	90
4.2	Cálculo de la flecha.....	93
4.2.1	Calculando por criterio de ASME.....	94
4.2.2	Análisis por Soderberg.....	95
4.2.3	Deformación angular.....	95
4.2.4	Deformación lateral.....	96
4.3	Selección de los cojinetes de bolas para la flecha diseñada.....	96
4.4	Selección de acoplamientos.....	97
4.4.1	Determinación del par nominal y los factores de servicio F1, F2 y F3 entre el motor y reductor.....	97
4.5	Determinación del par nominal y los factores de servicio F1, F2 y F3 entre el reductor y el eje motriz.....	98
 CAPITULO V MANTENIMIENTO. 		
5.1	Concepto de Mantenimiento.....	100
5.2	Clasificación del Mantenimiento.....	101
5.2.1	Mantenimiento Correctivo.....	102
5.2.2	Mantenimiento Correctivo o a la Rotura.....	102
5.2.3	Mantenimiento Proactivo.....	103
5.3	El mantenimiento propuesto es preventivo.....	103
5.3.1	Tipos de estándares.....	105
5.3.2	Estándares de mantenimiento.....	105
5.3.3	Procedimientos del trabajo de mantenimiento.....	106
5.3.4	Plan de mantenimiento anual.....	107
5.3.5	Planes de mantenimiento mensual.....	108
5.3.6	Planes para proyectos mayores de mantenimiento.....	109

5.4 Control de lubricación.	109
5.4.1 Métodos de pérdida total.	110
5.5 Mantenimiento predicativo y técnicas de diagnóstico.	111
5.5.1 Técnicas de diagnóstico.	111
5.5.2 El mantenimiento predictivo y sus fines:.....	112
5.5.3 Técnicas aplicadas para el diagnóstico de la máquina:.....	112
5.6 Planeación del mantenimiento anual para el molino de bolas.....	113
RECOMENDACIÓN.....	115
CONCLUSIONES.....	116
BIBLIOGRAFIA.....	117
ANEXOS.....	118



RESUMEN

Este trabajo lleva como título “DISEÑO DE UN MOLINO DE BOLAS PARA LA CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A.”

El diseño de un molino de bolas se determina con la finalidad de mejorar la recuperación adecuada de mena, así mismo se hace la comparación, el estudio, la descripción teórica de los principales equipos de molienda sus partes su funcionamiento y mantenimiento, encontrando así el estudio de diferentes equipos que existe en la industria para la molienda de minerales,

Se desarrolló el cálculo en el diseño de la transmisión del molino de bolas para la separación adecuada de la mena del mineral con el fin de obtener el resultado óptimo del diseño de un molino de bolas.

Viendo así el resultado el molino de bolas como la mejor opción para tratar el mineral de 3 tn/hr o 50 tn/día.

Se calculó las dimensiones del molino de bolas dando como resultado de 5` x 9` o su equivalente a 6` x 7`, motor de 70 Hp, 53 Kw de consumo de energía.

Se redujo de manera significativa cualquier desgaste ocasionado durante la transmisión de movimiento, tomando en consideración diferentes aspectos básicos en el cálculo de engranes, ejes, rodamientos, acoplamientos, selección del motor eléctrico y el reductor de velocidad.

Las maquinas, equipos e instalaciones, requieren de un mantenimiento constante para no prestar averías inesperadas.

Palabras claves: Diseño, Cálculos, molino de bolas, mantenimiento y moliendabilidad.

ABSTRACT

This work is entitled "Designing a ball mill to Ananea MINING CORPORATION SA"

The design of a ball mill is determined in order to improve the proper recovery of ore, also the comparison study, theoretical description of the main milling equipment is functioning parts and maintenance, the study found different equipment exists in the industry for grinding minerals,

Calculating the transmission design ball mill for adequate separation of the mineral ore in order to obtain the optimum result of the design of a ball mill it was developed.

And seeing the result the ball mill as the best option for treating mineral 3 tn / hr or 50 tons / day.

The dimensions of ball mill resulting in 5` x 9` or equivalent to x 7` 6`, 70 Hp motor, 53 kW of power consumption was calculated.

Was reduced significantly any wear caused during transmission of movement, taking into account different fundamentals in the calculation of gears, shafts, bearings, couplings, selection of the electric motor and the speed reducer.

The machines, equipment and facilities, require constant maintenance to not pay unexpected breakdowns.

Keywords: design, calculations, ball mill, maintenance and grinding.

INTRODUCCION

Molienda.

La molienda es una operación unitaria, que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado.

Las principales clases de máquinas para molienda son:

A) Trituradores (Gruesos y Finos).

1. Triturador de Quijadas.

2. Triturador Giratorio.

3. Triturador de Rodillos.

B) Molinos (Intermedios y Finos).

1. Molino de Martillos.

2. Molino de Rodillos de Compresión.

a) Molino de Tazón.

b) Molino de Rodillos.

3. Molinos de Fricción.

4. Molinos Revolvedores.

a) Molinos de Barras.

b) Molinos de Bolas.

c) Molinos de Tubo.

C) Molinos Ultra finos.

1. Molinos de Martillos con Clasificación Interna.

2. Molinos de Flujo Energético.

3. Molinos Agitadores.

D) Molinos Cortadores y Cortadores de Cuchillas.

La operación de conminución se realiza en varias etapas:

La primera etapa consiste en fraccionar mineral de gran tamaño. Para ello se utilizan los trituradores o molinos primarios. Los más utilizados son: el de martillos, muy común en la industria cementera, y el de mandíbulas.

Los trituradores de quijadas, (tipo: Blake, Dodge y excéntricos). La alimentación se recibe entre las mandíbulas que forman una "V". Una de las mandíbulas es fija, la otra tiene un movimiento alternativo en un plano horizontal. Está seccionado por una excéntrica, de modo que aplica un gran esfuerzo de compresión sobre los trozos atrapados en las mandíbulas.

La posición inclinada de la quijada móvil determina una obstrucción al material por triturarse cuanto más abajo se encuentre éste, de tal forma que el material se va acercando a la boca donde es triturado. La abertura de la boca puede ser regulada y con esto poder tener variaciones en la granulometría obtenida de este triturador.

La segunda etapa se realiza en un molino de bolas o de guijarros lleva a cabo la mayor parte de la reducción por impacto. Cuando éste gira sobre su propio eje, provoca que las bolas caigan en cascada desde la altura máxima del molino. Esta acción causa un golpeteo sobre el material a moler; además de un buen mezclado del material. De esta manera la molienda es uniforme.

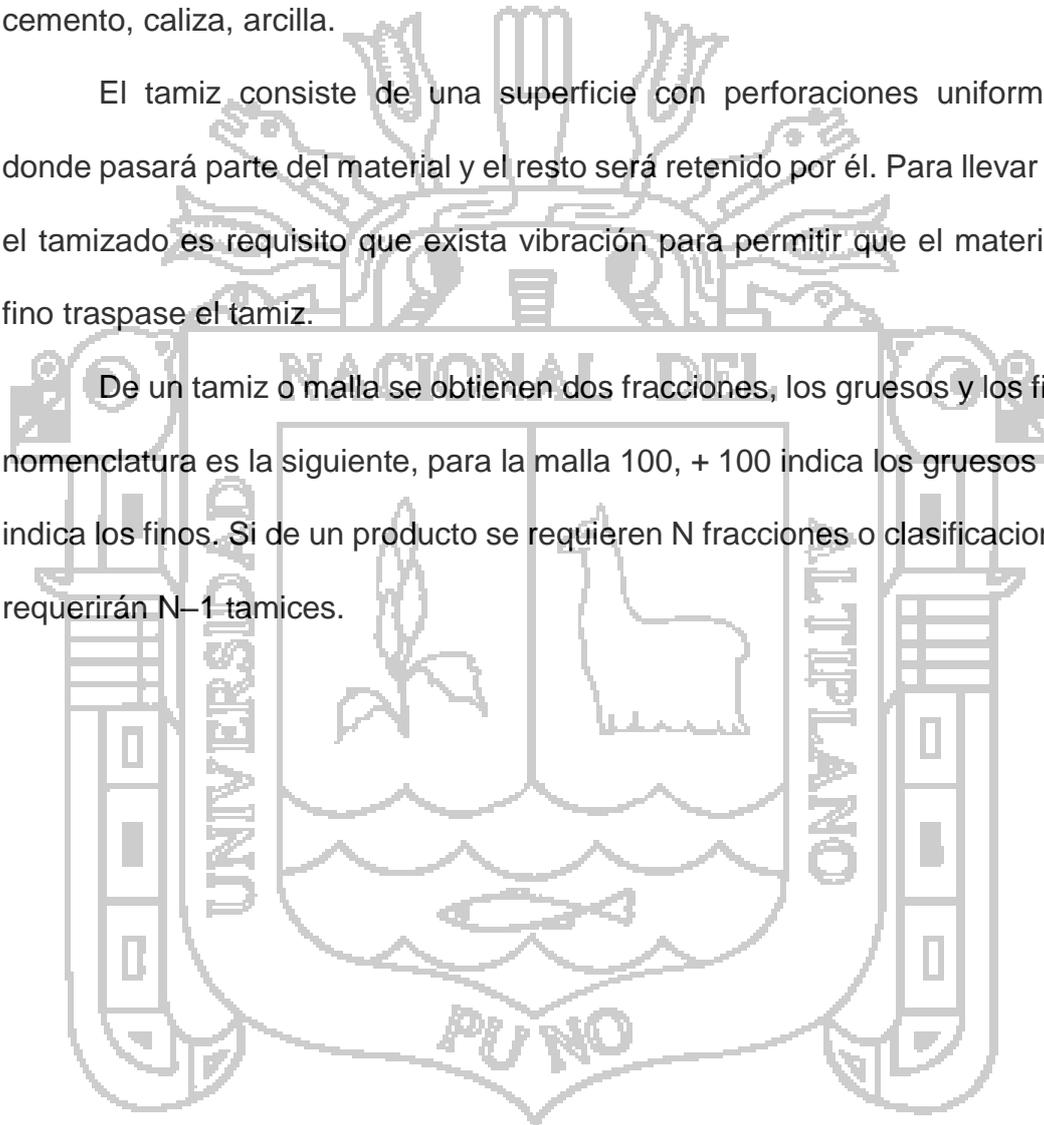
El molino de bolas a escala industrial trabaja con flujo continuo teniendo dos cámaras en su interior; la primera contiene bolas grandes de dos a tres pulgadas de diámetro, mientras la segunda tendrá bolas de 1 a 1 1/2 pulgadas. Estos molinos generalmente trabajan en circuito cerrado.

Tamizado.

La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos. Además, se utiliza el análisis granulométrico de ingreso y productos de los molinos para observar la eficiencia de éstos y para control de molienda de diversos productos o materias primas, entre otras como: cemento, caliza, arcilla.

El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasará parte del material y el resto será retenido por él. Para llevar a cabo el tamizado es requisito que exista vibración para permitir que el material más fino traspase el tamiz.

De un tamiz o malla se obtienen dos fracciones, los gruesos y los finos: la nomenclatura es la siguiente, para la malla 100, + 100 indica los gruesos y -100 indica los finos. Si de un producto se requieren N fracciones o clasificaciones, se requerirán N-1 tamices.



CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En La Corporación Minera Ananea S.A., El molino de bolas es la mejor opción para triturar la moliendabilidad, se vio de implementar un molino con más capacidad reemplazado al molino de bolas 4`*4` o 3`*2` por tal diseñamos la transmisión del molino de bolas para la separación adecuada de la pulpa.

Reducir de manera significativa el desgaste ocasionado por la trasmisión del movimiento del molino haciendo cálculos de engranes, ejes, rodamientos, acoplamientos, selección del motor eléctrico y el reductor de velocidad para un buen funcionamiento y no perjudicar a la empresa en pérdidas.

PROBLEMA GENERAL

¿Es posible mejorar la moliendabilidad de los minerales con el diseño de un molino de bolas?

PROBLEMAS ESPECIFICOS

- El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto
- Exponer un mayor área superficial para la liberación de la mena

1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El objetivo principal de este trabajo, es la descripción teórica de los principales equipos de molienda, así como sus partes y funcionamiento, además de enfocarnos en el diseño de la transmisión del molino de bolas para la separación adecuada de la mena del mineral, con el fin de obtener un equipo con un diseño adecuado de los elementos que componen el mismo.

Además de mencionar el mantenimiento que se debe de realizar para preservar en óptimas condiciones el molino, evitando pérdidas en la producción.

De esta manera, se espera que este trabajo sirva como un manual de consulta, para aplicar los conocimientos básicos que aquí se dan en forma clara, ordenada y concisa para la ayuda de futuras generaciones.



1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un molino de bolas para uso industrial en la Corporación Minera Ananea S.A.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un molino de bolas para la liberación adecuada de la mena del mineral
- Diseñar la transmisión para el molino de bolas

1.4 GEOGRAFIA

1.4.1 Ubicación del proyecto

LA CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A. está ubicada entre la parte intermedia denominados Rinconada y Lunar de Oro, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno. Entre 4,800 a 5,800 m.s.n.m.

Se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas, promedio del GPS: las coordenadas geográficas son las siguientes.

N: 8'383,230.269 E: 451,924.491

Latitud Sur: 14° 37' 00" Longitud: 69° 26' 00"

Elevación: 4800 a 5800 m.s.n.m.



Lunar De Oro, Donde Se Ubica La Corporación Minera Ananea S.A

1.4.2 ACCESIBILIDAD.

El acceso a la región aurífero en Rinconada, se efectúa por vía terrestre o por vía aérea llegando a la provincia de San Román más conocida la ciudad de Juliaca de donde se aprovecha; la vía Juliaca, denominado Limac-Pampa (Pampilla) de este se desvía hasta Ananea finalmente a la mina **C.M.A.S.A.** Rinconada.

LA DISTANCIA Y EL PERIODO DE VIAJE.

DE	KM	CARRETERA	TIEMPO
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	0:45 min
Juliaca - Putina	79	Asfaltada	1:30 min
Putina - Ananea	98	Asfaltado	2:00 h.
Anane - Rinconada	15	Trocha	0:45 min.
Total	237		4.20 h

1.4.3 DISTANCIA.

Por tal razón para señalar las distancias se ha considerado como referencia a la ubicación de la Planta CMASA.

Las distancias son:

Nevado Ananea 2.5 Km.

Laguna Lunar: 750 m.

Laguna rinconada: 1.2 Km.

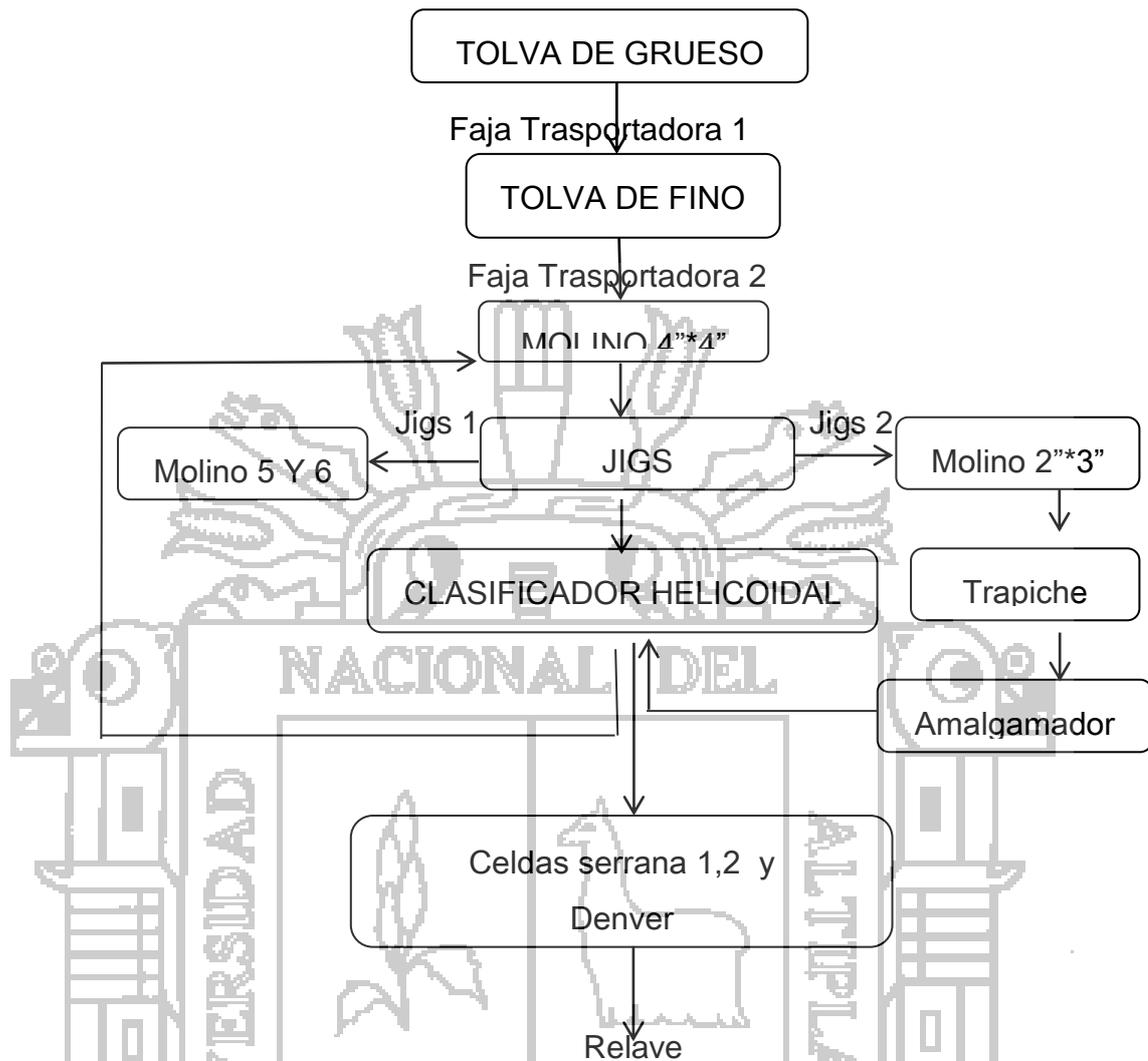
Laguna Casa blanca: 2.5 Km.

1.4.4 DRENAJE Y RECURSOS HÍDRICOS.

El drenaje es glacial irregular conformada por lagunas glaciares, afloramiento de agua subterránea (manantiales) y pequeños riachuelos de glaciar:

Los recursos hídricos lo constituye el Nevado Ananea, Laguna Lunar, Laguna Casa Blanca.

PROCESO DE UNA PLANTA CONCENTRADORA.



1.5 CORPORACION MINERA ANANEA S.A.

1.5.1 Descripción General Planta

La Principal actividad de la Corporación Minera Ananea S.A. Es la obtención del Oro, operación que viene realizando recientemente, desde Enero 2003, empezando con pruebas en laboratorio y normalizando la operación en el mes de marzo del 2003 llegando actualmente a una capacidad operativa de 17 TMSD.

CAPITULO II

FUNDAMENTO TEORICO

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, también llamado pulpa. La molienda se realiza en molinos de forma cilíndrica 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 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 y, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

Por supuesto, una sub-molienda 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. Sobre-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.

2.1 Movimiento de la carga en molinos.

Una característica distintiva de los molinos rotatorios es el uso de cuerpos de molienda que son grandes y pesados con relación a las partículas de mena pero pequeñas con relación al volumen del molino, y que ocupan menos de la mitad del volumen del molino.

Cuando el molino gira, los medios de molienda son elevados en el lado ascendente del molino hasta que se logra una situación de equilibrio dinámico donde los cuerpos de molienda caen en cascada y en catarata sobre la superficie libre de los otros cuerpos, alrededor de una zona muerta donde ocurre poco movimiento hasta el "pie" de la carga del molino. Se pueden distinguir tres tipos de movimiento de los medios de molienda en un molino rotatorio: a) rotación alrededor de su propio eje, b) caída en cascada, donde los medios bajan rodando por la superficie de los otros cuerpos y c) caída en catarata que corresponde a la caída libre de los medios de molienda sobre el "pie" de la carga.

La magnitud del elevamiento que sufren los medios de molienda depende de la velocidad de rotación del molino y del tipo de revestimiento del molino. A velocidades relativamente bajas o con revestimientos lisos, los medios de

molienda tienden a rodar hacia el pie del molino y la conminución que ocurre es principalmente abrasiva. Esta caída en cascada produce molienda más fina, con gran producción de polvo y aumento del desgaste del revestimiento. A velocidades mayores los cuerpos de molienda son proyectados sobre la carga para describir una serie de parábolas antes de aterrizar en el "pie" de la carga. Esta caída en catarata produce conminución por impacto y un producto más grueso con menos desgaste del revestimiento.

La velocidad crítica del molino, es la velocidad mínima a la cual la capa exterior de medios de molienda se adhiere a la superficie interior del cilindro debido a la fuerza centrífuga. A esta velocidad, la fuerza centrífuga es justo balanceada por el peso de los medios de molienda. Normalmente el rango de trabajo es entre 70 a 80% de la velocidad crítica.

Estructuralmente, cada tipo de molino consiste de un casco cilíndrico, con revestimientos renovables y una carga de medios de molienda. El tambor es soportado en muñones huecos fijos a las paredes laterales de modo que puede girar en torno a su eje. El diámetro del molino, determina la presión que puede ejercer el medio en las partículas de mena y, en general, mientras mayor es el tamaño de la alimentación mayor necesita ser el diámetro. La longitud del molino, junto con el diámetro, determina el volumen y por consiguiente la capacidad del molino.

La mena normalmente se alimenta continuamente al molino a través del muñón de un extremo, y el producto molido sale por el otro muñón.

2.2 Partes principales de un molino.

Casco: El casco del molino está diseñado para soportar impactos y carga pesada, 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 bridas de acero generalmente soldados a los extremos de las placas del casco, los cuales tienen perforaciones para apernarse a la cabeza.

Extremos: Los extremos del molino, o cabezas de los muñones pueden ser de fierro fundido gris o nodular para diámetros menores de 1 m. Cabezas más grandes se construyen de acero fundido, el cual es relativamente liviano y puede soldarse. Las cabezas son nervadas para reforzarlas.

Revestimientos: Las caras de trabajo internas del molino consisten de revestimientos renovables que deben soportar impacto, ser resistentes a la abrasión y promover el movimiento más favorable de la carga. Los extremos de los molinos de barras tienen revestimientos planos de forma ligeramente cónica para inducir el centrado y acción rectilínea de las barras. Generalmente están hechas de acero al manganeso o acero al cromo–molibdeno, con alta resistencia al impacto, también los hay de goma. Los extremos de los molinos de bolas generalmente tienen nervaduras para levantar la carga con la rotación del molino. Ellos impiden deslizamiento excesivo y aumentan la vida del revestimiento. Generalmente están hechos de fierro fundido blanco aleado con níquel, Ni–duro, y otros materiales resistentes a la abrasión, como goma. Los revestimientos de los muñones son diseñados para cada aplicación y pueden ser cónicos, planos y con espirales de avance o retardo.

Los revestimientos del molino son de un costo importante en la operación del molino y constantemente se está tratando de prolongar su vida. En algunas operaciones se reemplazan los revestimientos y elevadores por goma, actualmente son más durables, más fáciles y rápidos de instalar y su uso resulta

una significativa reducción del nivel de ruido. Sin embargo producen un aumento en el desgaste de medios de molienda comparados con los revestimientos Ni-duro. Los revestimientos de goma también pueden tener dificultades en procesos que requieren temperaturas mayores que 80°C.

2.2.1 Factores que afectan la eficiencia de molienda.

Varios factores afectan la eficiencia del molino de bolas. La densidad de la pulpa de alimentación debe ser lo más alta posible, garantizado un flujo fácil a través del molino. Es esencial que las bolas estén cubiertas con una capa de mena; una pulpa demasiado diluida aumenta el contacto metal-metal, aumentando el consumo de acero y disminuyendo la eficiencia. El rango de operación normal de los molinos de bolas es 65 a 80% sólidos en peso, dependiendo de la mena. La viscosidad de la pulpa aumenta con la fineza de las partículas, por lo tanto, los circuitos de molienda fina pueden necesitar densidad de pulpa menor.

La eficiencia de la molienda depende del área superficial del medio de molienda. Luego las bolas deberían ser lo más pequeñas posibles y la carga debería ser distribuida de modo tal que las bolas más grandes sean justo lo suficientemente pesadas para moler la partícula más grande y más dura de la alimentación. Una carga balanceada consistirá de un amplio rango de tamaños de bolas y las bolas nuevas agregadas al molino generalmente son del tamaño más grande requerido. Las bolas muy pequeñas dejan el molino junto con la mena molida y pueden separarse haciendo pasar la descarga por harneros.

2.2.2 Volumen de llenado del molino

El volumen o nivel de la carga de bolas está relacionado con la dureza del mineral y tonelaje de alimentación que puede tratar el molino para un mismo grado de molienda. Por ejemplo, un aumento del tonelaje a tratar involucra un menor tiempo de residencia, lo que se compensa con una mayor carga de bolas, a fin de aumentar la probabilidad de contacto entre bolas y mineral. Lo mismo sucede frente a un mineral que presenta una mayor dureza.



Fig. No. 1 diagrama DH, h y L

La carga de bolas se expresa usualmente como un porcentaje del volumen del molino que es ocupado por las bolas. El cálculo de la fracción o nivel de llenado para un molino en forma cilíndrica puede hacerse una vez que se conoce la altura desde la superficie de la carga hasta el tope del molino. Denominamos h a esa altura y D al diámetro interno del molino, tal como lo muestra la Figura No. 1:

El volumen del molino ocupado por la carga está dado por el área del segmento achurado multiplicado por el largo interno del molino y la relación matemática con la que se determina el % de llenado de bolas es:

$$\% \text{ carga bolas} = 113 - 126 \frac{h}{D} \text{ ec 1}$$

h = espacio disponible sin carga de bolas.

D = Diámetro del molino.

Normalmente los molinos con descarga por rebalse operan con un volumen aparente de 40 a 42 % del volumen total del molino, realizando cargas periódicas y controladas de bolas para recuperar las gastadas durante la operación de molienda.

2.2.3 Circuitos de molienda y clasificación.

Los circuitos de molienda se utilizan para reducir el tamaño de las partículas de mena al tamaño requerido para su beneficio.

La mayoría de las menas sulfuradas se muelen en circuitos húmedos usando una o más etapas de molienda para obtener la liberación de los minerales necesarios para producir un concentrado final que cumpla con los criterios deseados. Las ventajas de molienda húmeda son:

1. Menor consumo de energía por tonelada de producto.
2. Mayor capacidad por unidad de volumen.
3. Posibilita el uso de harneado en húmedo o clasificación mecánica, centrífuga para controlar bien el tamaño del producto.
4. Elimina el problema de polvo, criterio ambiental.
5. Hace posible el uso de métodos simples de manejo y transporte de pulpas tales como bombas, cañerías y canaletas.

Los hidrociclones son el equipo de clasificación usado en circuitos modernos de molienda húmeda.

2.2.4 Circuito cerrado de molienda y clasificación.

La molienda en circuito cerrado es la más común en circuitos de molienda para el procesamiento de minerales. Este tipo de circuito consiste de uno o más molinos y clasificadores y producirá en forma eficiente un producto con un tamaño máximo controlado y con un mínimo de material sobre molido.

El material molido que descarga el molino es separado por el clasificador en una fracción fina y una gruesa. El tamaño de la separación es controlada por las condiciones operacionales del hidrociclón.

En la operación en circuito cerrado no se intenta alcanzar toda la reducción de tamaño en una pasada por el molino. Por el contrario el énfasis se concentra en tratar de sacar el material del circuito tan pronto alcanza el tamaño requerido. El material retornado al molino por el clasificador se conoce como carga circulante y su peso se expresa como porcentaje del peso de la alimentación nueva al circuito.

La molienda en circuito cerrado disminuye el tiempo de residencia de las partículas en cada paso por el molino y también la proporción de material fino en el molino comparado con molienda en circuito abierto. La sobre molienda del material se trata de evitar en general para minimizar la producción de partículas excesivamente finas que frecuentemente interfieren con los procesos de recuperación del metal.

La Figura No. 2 ilustra un circuito cerrado convencional en el que la descarga del molino se clasifica y separa en una porción de material fino (rebalse) que corresponde al producto del circuito y otra porción de material grueso (descarga) que es la carga circulante retornada al molino.

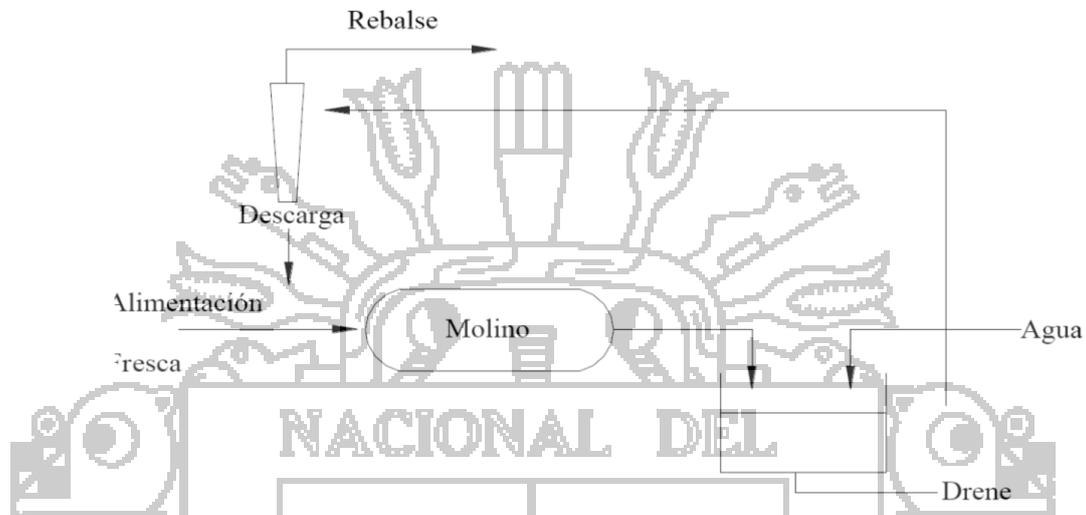


Fig. No. 2. Circuito cerrado convencional.

2.3 Molino de bolas.

Los molinos de bolas, tienen una capa cónica o cilíndrica que gira sobre un eje horizontal, y se cargan con un medio de molienda, por ejemplo, bolas de acero, pedernal o porcelana, o bien, con varillas de acero. El molino de bolas difiere del tubo en que es de longitud más corta y, por regla general, dicha longitud no es muy distinta a su diámetro, de acuerdo con la fig. No.3. La alimentación a los molinos de bola puede ser de 2.5 a 4 cm (1 a 1 1/2 pulg) para materiales muy frágiles, aunque por lo general el tamaño máximo es de 1.3 cm (1/2 pulg). La mayor parte de los molinos de bolas operan con una razón de reducción de 20 a 200:1. El tamaño usual de las bolas más grandes es de 13 cm (5 pulg) de diámetro.

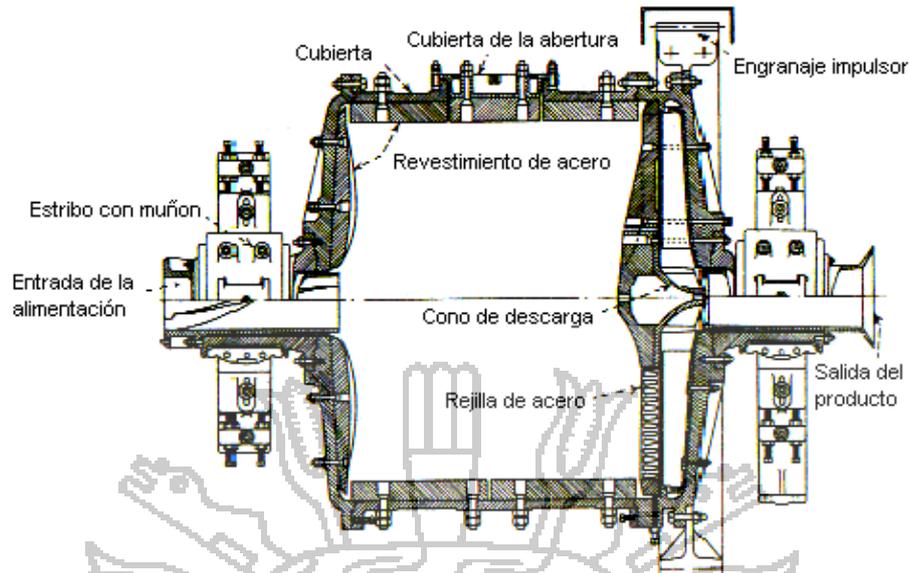


Fig. No. 3, Molino de bolas continuo, tipo rejilla, marca Marcy.

El molino de tubo es largo en comparación con su diámetro, utiliza bolas de mayor tamaño y da un producto más fino. El molino de compartimientos que es una combinación de los dos tipos anteriores, consiste en un cilindro dividido en una o más secciones por medio de divisiones perforadas; la molienda preliminar se realiza en uno de los extremos y la de acabado, en el extremo de descarga. Estos molinos tienen una razón de longitud a diámetro superior a 2 y operan con una razón de reducción hasta de 600:1. Los molinos de varillas o vástago generan un producto granular más uniforme que otros molinos giratorios, reduciendo al mínimo con ello el porcentaje de finos que en ocasiones constituyen una desventaja.

El molino de piedras, es un molino de tubo con piedras de pedernal o cerámica como medio de molienda, que pueden estar recubiertos con capas cerámicas u otros materiales no metálicos. El molino de piedra y roca es de tipo

autógeno en el que el medio consiste en grumos de mayor tamaño que tienen un cribado preliminar en una etapa precedente del diagrama de flujo de molienda.

El molino de bolas y el de piedras son fáciles de operar y sus aplicaciones son muy variadas. Se tiene una capa de acero cilíndrica, sólo de este material o recubierta con piedras, que contiene una carga de bolas de acero o piedras que giran horizontalmente en torno a su eje, y la reducción del tamaño o pulverización se realiza por medio del volteo de las bolas o de las piedras sobre la materia, que queda entre ellas. Los molinos operan en húmedo o en seco, ya sea por lotes, en circuito abierto o en circuito cerrado con clasificadores de tamaño

El tipo común de molino por lotes consta de una cubierta cilíndrica de acero con cabezas de acero brindadas. Se tienen aberturas por las que se carga y descarga el medio de trituración y el material de proceso. La longitud del molino es igual al diámetro o menor que éste. La abertura de descarga se localiza generalmente en el lado opuesto de la abertura de carga y, cuando se trata de moliendas en húmedo, cuenta casi siempre con una válvula. Por lo común, se proporcionan uno o más orificios para liberar cualquier presión desarrollada dentro del molino, introducir un gas inerte o abastecer la presión necesaria para auxiliar la descarga del molino. Durante la molienda en seco, el material se descarga hacia una campana por medio de una rejilla, que está por arriba de la abertura de paso mientras gira el molino. La maquinaria cuenta con chaquetas para calentamiento y enfriamiento.

El material se alimenta y descarga a través de muñones huecos en extremos opuestos de los molinos continuos. Según la fig. No.3. Se puede usar un tamiz, rejilla o diafragma que queda inmediatamente dentro del extremo de

descarga con el fin de regular el nivel de lechada en la molienda en húmedo y controlar con ello el tiempo de retención. En el caso de los molinos con barrido de aire, se deben tomar medidas para hacer soplar el aire por un extremo y separar el material molido en una suspensión con aire, en el mismo o en el otro extremo.

Los molinos de bolas tienen usualmente recubrimientos que se reemplazan cuando se desgastan. Estos recubrimientos pueden tener una acción desviadora debido a una forma ondulada o porque cuentan con inserciones de elevadores que ajustan la carga de la bola con la cubierta y evitan la pérdida de velocidad por deslizamiento. En la fig. No. 4. Se ilustran las formas usuales de recubrimientos. En molinos de recubrimientos lisos ocurren problemas especiales de funcionamiento debido al deslizamiento errático de la carga sobre la pared. A velocidades bajas, la carga puede agitarse de un lado a otro sin sufrir un verdadero volteo y, a velocidades más altas, se generan oscilaciones durante el volteo. Así pues, el uso de los elevadores evita este fenómeno. El consumo de energía en un molino liso depende de una manera compleja de las condiciones de operación, como la viscosidad del material alimentado, en tanto que es más predecible en un molino con elevadores.

Las bolas para molienda pueden ser de acero forjado, acero fundido o hierro colado. El tratamiento térmico a que son sometidas las bolas de acero forjado suele proporcionar una característica óptima de desgaste. La dureza de las bolas varía considerablemente: las bolas suaves tienen una dureza Brinell entre 350 y 450 y las bolas duras tienen una dureza que supera el valor de 700.

Los resultados más seguros de las pruebas de desgaste indican que las matrices de martensita o vainita a baja temperatura con austenita contenida, presentan la mejor resistencia al desgaste de las aleaciones de acero.

Se ha difundido el empleo de recubrimiento de bloques de hule para molinos de bolas de gran tamaño. El desgaste y el rendimiento de la producción son similares a los que se obtienen con recubrimientos de acero, pero la mano de obra para su reemplazamiento es menor debido a la mayor facilidad con que se manejan.

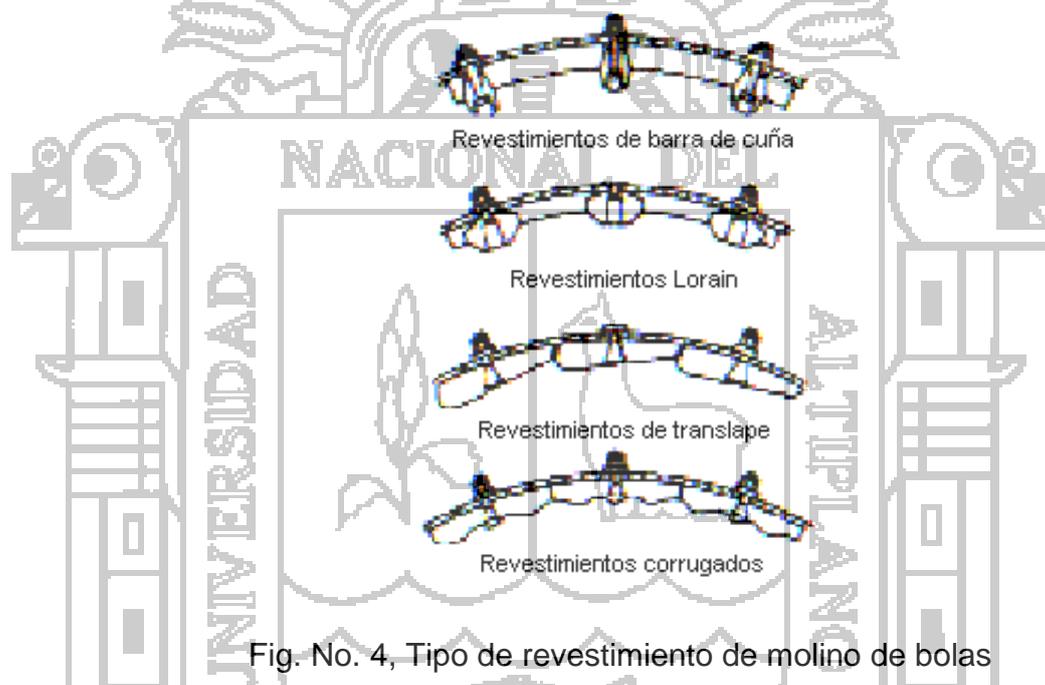


Fig. No. 4, Tipo de revestimiento de molino de bolas

Con frecuencia, los molinos de piedras están recubiertos con materiales no metálicos cuando la contaminación con hierro puede dañar al producto, como el pigmento blanco o cemento. En tiempos pasados, el bloque de (sílice) o de porcelana constituían recubrimientos muy utilizados. Se ha demostrado que los medios de bolas y recubrimientos de sílice tienen un mejor desgaste que otros materiales no metálicos. La mayor densidad de los medios de sílice aumenta la capacidad de producción y mejora el consumo de energía de un molino determinado.

Las capacidades de los molinos de piedras son, por lo general, del 30 al 50% de la capacidad de un molino de bolas del mismo tamaño con medios de molienda de acero y recubrimientos; esto depende directamente de la densidad de los medios.

Los molinos de menor tamaño, hasta capacidades aproximadas de 0.19 m³ (50 galones), se fabrican en una sola pieza con cubierta. La U.S. Stoneware Co. fabrica estas unidades en cerámica resistente al desgaste reforzada con Burundum y también fabrica unidades grandes de tres piezas, dentro de una cubierta protectora de metal y con capacidades hasta de 0.8 m³ (210 galones). Paúl O. Abbe Inc. publica un manual sobre molienda, en molino de piedras.

2.3.1 Operación.

Los medios de molienda efectúan movimientos de cascada y catarata. El primero de ellos se aplica al rodado de bolas o mineral de la parte superior hacia la base del montón, y el segundo al lanzamiento de bolas por el aire hasta la punta del montón. La acción de las bolas se ha estudiado y analizado desde este punto de vista. Estos desarrollos matemáticos rigurosos se basan en hipótesis especulativas sobre la forma de la masa de bola.

Los factores principales que determinan el tamaño de las bolas de molienda son la finura del material que se está pulverizando y el costo de mantenimiento para la carga de las bolas. Cualquier material grueso alimentado requiere una bola mayor que una alimentación fina; se ha propuesto la relación:

$$D_p \frac{2}{b} = KXp$$

Donde D_p es el diámetro de la bola, y X_p es el tamaño de las partículas de alimentación más gruesas, dándose ambas dimensiones en cm (in); y K es la constante de molibilidad que varía de 140 cm (55 pulg) en el caso de la lidita a 90 cm (35 pulg) para la dolomita.

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

El tamaño óptimo recomendado para el vástago y las bolas es:

$$D_b = \sqrt{\frac{X_p E_t}{K n_r}} \sqrt{\frac{\rho_s}{D}} \quad \text{ec. 2}$$

Donde D_b = diámetro del vástago o de la bola, cm (pulg); D = diámetro del molino, m (pies); E_t es el índice de trabajo del material alimentado; n_r es la velocidad, por ciento de la velocidad crítica; ρ_s es la gravedad específica del material alimentado; $K = 214$ para vástagos y 143 para bolas. La constante K tiene un valor de 300 para los vástagos y 200 para las bolas, cuando D_b y D se expresan en pulgadas y pies, respectivamente. Esta fórmula da resultados razonables para molinos con tamaño de producción, pero no así con los de laboratorio. La razón entre los tamaños recomendados de bola y varilla es 1:23.

En el molino de varillas o vástago origina una carga graduada de las mismas debido al desgaste. Por ejemplo, el diámetro del vástago puede variar de 10 a 2.5 cm (4 a 1 pulg). Por lo común, se acostumbra conformar una nueva carga de vástagos en función de la usada, y esto ha dado buenos resultados.

El criterio que se sigue para comparar la acción de las bolas en molinos de varios tamaños se basa en el concepto de la velocidad crítica. Se trata de la velocidad teórica a la que la fuerza centrífuga ejercida sobre una bola en contacto con la cubierta del molino, a la altura de su trayectoria, es igual a la fuerza ejercida sobre ella debido a la gravedad:

$$N_c = \frac{42.3}{\sqrt{D}} \text{ Sistema métrico}$$

$$N_c = \frac{76.6}{\sqrt{D}} \text{ Sistema inglés ec. 3}$$

Donde N_c es la velocidad crítica en rpm, y D es el diámetro del molino m (pies), para un diámetro de bola que resulta pequeño con respecto al diámetro del molino. El numerador de la expresión anterior es 76.6 cuando D se expresa en pies.

Las velocidades reales de los molinos varían de 65 a 80% de su valor crítico. Podría generalizarse que se necesita del 65 al 70% para la molienda fina en húmedo en suspensión viscosa, 70 a 75% para moliendas finas en húmedo, en suspensiones de baja viscosidad y para moliendas en seco de partículas grandes con tamaños del orden de 1.3 cm (1/2 pulg). Las velocidades pueden incrementarse en un 5% del valor crítico cuando se trata de molinos sin desviadores, para compensar alguna falla.

Cargas de material y bolas. La carga del medio de molienda, se expresa en función del porcentaje del volumen del molino ocupado por el medio de molienda; por ejemplo, un volumen masivo de bolas que ocupan la mitad del molino es aproximadamente una carga de bolas del 50%. El espacio vacío de un volumen masivo estático de bolas es

aproximadamente el 41%. Puesto que el medio se expande conforme gira el molino, el volumen real de funcionamiento se desconoce.

Hay relaciones sencillas que gobiernan la cantidad de bolas y espacios vacíos en un molino:

$$\text{El peso de las bolas} = \rho_b \varepsilon_b V_m$$

Donde ρ_b = densidad promedio de las bolas, g/cm (lb/pie); ε_b = fracción de llenado aparente de las bolas y V_m = volumen del molino = $L/4$. Las bolas de acero tienen una densidad aproximada a 4.8 g/cm^3 (300 lb/pie^3); las piedras representan 1.68 g/cm^3 (100 lb/pie^3) y las bolas de alúmina, 2.4 g/cm^3 (150 lb/pie^3).

La cantidad de material que se tiene en un molino se expresa convenientemente como la relación entre su volumen y el de los espacios vacíos dentro de la carga de bolas. Esta expresión se conoce como razón del material a espacio vacío. Si el material sólido y el medio de suspensión (agua, aire, entre otros.) llenan exactamente los huecos de bola, la razón M/V es 1. Las cargas de los medios de molienda varían de 20 a 50% en la práctica y en general, las razones M/V se aproximan a 1.

La concentración de sólidos de un molino debe ser lo suficientemente grande para dar una viscosidad por lo menos $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (200 centipoises) para asegurar su mejor eficiencia; pero es probable que esto requiera ajustar la carga a las paredes del molino liso utilizado. La carga de material en molinos continuos no se puede ajustar de manera directa, sino que se determina indirectamente según las condiciones de operación. Existe una razón de carga tratada máxima que depende de la forma del molino, las características de flujo de la alimentación, la

velocidad del molino, el tipo de material alimentado y la disposición de descarga.

Alimentación y descarga. Los esquemas de alimentación y descarga de los molinos de bolas y varillas dependen de su modo de operación. En la fig. No. 5 se muestran varios mecanismos de alimentación y descarga.

Los dosificadores alimentadores de molino unidos al muñón de alimentación del molino cónico y utilizado para pasar la alimentación al molino sin derramamiento, son de varios tipos. Por lo general, se utiliza un canal de alimentación para la molienda en seco que consiste en un canal inclinado, unido a la orilla extrema del muñón por donde pasa el material antes de llegar al molino. Un dosificador de tornillo sinfin, que tiene una sección corta de transportador de tornillo que se extiende parcialmente dentro de la abertura de la alimentación y transporta el material dentro del molino, puede ser utilizado también cuando se trate de molienda en seco.

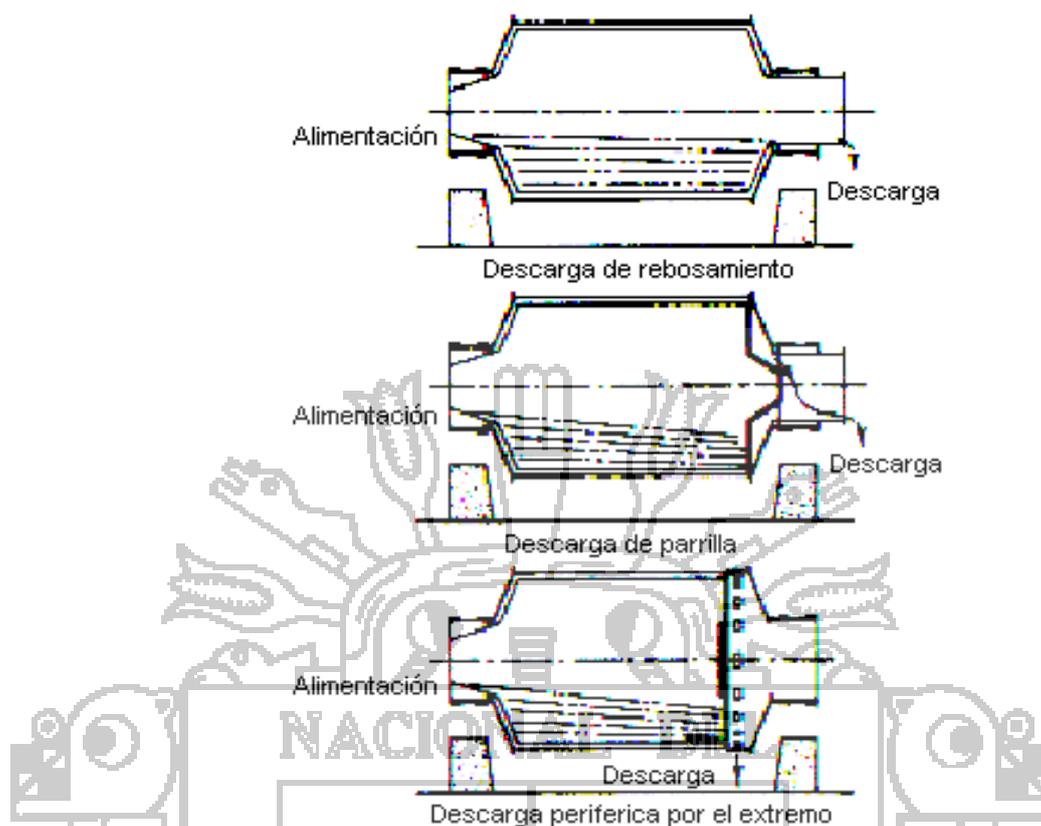


Fig. No. 5; Sistemas de descarga de un molino de bolas continuo para moliendas por vía húmeda

Para moliendas en húmedo, existen varios dosificadores distintos; el dosificador de pala que va unido y gira con el muñón del molino que se introduce en una caja estacionaria para recoger el material y transportarlo hasta el molino; un dosificador de tambor sujeto al muñón de alimentación y que gira con éste, con una abertura central por la que se introduce el material y un deflector interno o elevador para hacer pasar el material por el muñón al interior del molino; o una combinación de tambor y dosificador de pala, en donde la nueva carga de material que llega al molino se introduce a través de la abertura central del tambor al mismo tiempo que la pala recoge el material de tamaño grande que se devuelve de un clasificador a la caja de pala que queda abajo de la línea central del

molino. El dosificador del molino debe ser capaz de manejar cualquier cantidad de material que el molino pueda tratar y, además, una carga circulante que llega a ser del orden de 1000% del nuevo índice de alimentación.

Los molinos de descarga por rejilla o parrilla permiten controlar el nivel de pulpa para obtener una gran carga circulante. En un caso específico se obtuvo un aumento del 18% en la capacidad debido a la conversión de un molino de rebosamiento a un molino de descarga por rejilla, a pesar de que se registró una pérdida del 10% del volumen de molino debido al cambio. La principal razón fue eliminar los finos del molino debido a la razón de recirculación incrementada. Las rejillas o parrillas dejaron pasar la cantidad suficiente de pulpa para mantener la carga circulante en un nivel equivalente a 400%.

2.3.2 Eficiencias del molino.

Los factores de control que se sabe regulan la eficiencia de molienda de minerales, en molinos cilíndricos son como sigue:

1. La velocidad del molino afecta la capacidad, al igual que el desgaste del recubrimiento y de las bolas, en una proporción directa hasta del 85% de la velocidad crítica.
2. La carga de bolas equivalente al 50% del volumen del molino, de la capacidad máxima.
3. Las bolas de tamaño mínimo capaces de moler el material alimentado, dan una eficiencia máxima.
4. Los recubrimientos ranurados de tipo ondulado son los preferidos entre los usuarios.

5. La eficiencia del clasificador se hace más importante en moliendas de varias etapas.
6. Las cargas circulantes de mayor tamaño tienden a aumentar la producción y reducir la cantidad de material fino no deseable.
7. La descarga de nivel bajo o rejilla incrementa la capacidad de molienda en comparación con la descarga central o por rebosamiento, aunque el desgaste del revestimiento, la rejilla y los medios es mayor.
8. Las razones de sólidos a líquidos en el molino deben estudiarse basándose en la densidad del mineral y la relación volumétrica.

2.3.3 Parámetros del molino

Las pruebas experimentales representadas en un artículo de Coghill y De Vaney, han hecho que los autores lleguen a las siguientes conclusiones:

1. En la molienda de bolas por lotes y por vía húmeda, con cargas de minerales de 90 a 160 kg (200 a 350 lb), se necesitaron aproximadamente 35 kg (75 lb) de mineral para llenar los intersticios de las bolas en reposo y con velocidades del 30 al 80% de la crítica, la velocidad baja dio el mismo tipo de molienda que la alta. Las cargas grandes de minerales dieron una molienda un poco más selectiva de partículas gruesas que las cargas más ligeras. Se obtuvieron mejores capacidades con cargas ligeras y eficiencias un poco mayores con cargas grandes de minerales.
2. Algunas de las características de molienda en seco en molinos de bolas por lotes fueron diferentes a las que se obtuvieron en moliendas en húmedo. En el trabajo en seco, la eficiencia y la

capacidad mejoraron con cargas ligeras de minerales. Se redujeron los requisitos de potencia al disminuir la cantidad de mineral dentro del molino y en la molienda en húmedo aumentó al disminuir dicha cantidad. En moliendas en seco, la velocidad elevada fue más eficiente que la velocidad baja.

3. Al comparar la molienda en húmedo y en seco, las pruebas por pares se realizaron, de tal manera que todas las variables establecidas fueron idénticas, excepto la consistencia de la pulpa (húmeda o seca). Con un peso intermedio de carga de mineral, la molienda selectiva resultó del mismo grado; con cargas grandes de minerales, la molienda en húmedo fue más selectiva, y con cargas ligeras, la molienda en seco resultó más selectiva.

4. Al comparar la molienda húmeda y seca en molinos de bolas y circuito abierto, se obtuvo en húmedo 39% más de capacidad y 26% más de eficiencia.

5. El volumen reducido de bolas no fue satisfactorio en el tipo de molinos de rebosamiento o inundación en seco, porque se desarrollaba un exceso de mineral dentro del molino. Cuando se logró prevenir el desarrollo excesivo de mineral simulando un molino de nivel bajo de pulpa, el volumen de bolas pequeño dio buenos resultados.

6. Con un 60% de sólidos, las piedras del mismo tamaño que las bolas efectuaron la misma clase de trabajo que estas últimas cuando se molió dolomita; pero no se logró una molienda efectiva en el caso de la lidita. Las piedras dieron aproximadamente el 35%

de la capacidad y el 81% de la eficiencia que caracterizó a las bolas.

7. Para minerales duros y de dureza intermedia, los tetraedros no dieron buenos resultados como medio para la molienda gruesa.

8. Las bolas muy duras (níquel duro) resultaron mejores que las bolas ordinarias, sobre todo cuando se trataba de minerales de extremada dureza.

9. La eficiencia de las bolas desgastadas y desechadas, fue aproximadamente 11% menor que la de las bolas esféricas nuevas.

10. Un molino de bolas tan pequeño como de 48 por 91 cm (19 por 36 pulg) logró duplicar el trabajo de un molino tamaño planta. Los ensayos llevaron a la conclusión de que, si cada una de las variedades de los molinos, grandes o pequeños, se prueba en las mismas condiciones y si se aplica una unidad de trabajo por unidad de mineral, el efecto (molienda o trituración) será el mismo, según indican los productos; dicho de otra manera, se mantendrá la misma relación entre causa y efecto.

2.3.4 Selección del molino.

La selección de la unidad de molienda entre un molino de bolas o de vástago, se basa en los experimentos del molino piloto con escalamiento presuponiendo que la producción es proporcional al consumo de energía. Cuando no se pueden realizar experimentos piloto, el rendimiento se basa en datos publicados para tipos del material similares, expresados en función de la molibilidad o de los requisitos de.

Los métodos más recientes para determinar los tamaños de los molinos y especificar las condiciones de operación para un funcionamiento óptimo en circuito, se basan en soluciones de computadora de las ecuaciones de molienda, aplicando valores de las funciones de velocidad y rompimiento determinados a través de ensayos piloto y de escala. El molino de bolas es adecuado para materiales finos y gruesos, moliendas en húmedo o en seco, en circuito cerrado con clasificadores, cribas o separadores de aire. Se encuentra en diferentes clases de descarga, p.e. de diafragma (rejas) o rebosamiento.

La selección entre la molienda en seco y en vía húmeda la suele indicar el uso final del producto. Cuando el material puede ser molido en vía húmeda o seca, el consumo de energía, desgaste del recubrimiento y los costos de capital determinan el diseño. El consumo de los medios de molienda y el desgaste del recubrimiento por tonelada de producto es más bajo para un sistema de molienda en seco. A pesar de esto, el consumo de energía para un sistema de molienda en seco es aproximadamente 30% mayor que para la molienda húmeda y requiere el empleo de un colector de polvos.

2.3.5 Capacidad y consumo de energía.

Un método para determinar el tamaño adecuado del molino se basa en la observación de que el volumen de molienda depende de la cantidad de energía consumida, suponiendo que existe una práctica de operación aceptable comparable en cada caso. La energía aplicada a un molino de bolas se determina primordialmente de acuerdo con el tamaño del mismo y la carga de las bolas. Algunas observaciones teóricas

demuestran que la potencia neta requerida para impulsar un molino de bolas es proporcional a $D^{2.5}$, pero este exponente puede ser usado sin ninguna modificación para comparar dos molinos, sólo cuando las condiciones de operación son idénticas. La potencia neta necesaria para impulsar un molino de bolas resultó ser:

$$E = [(1.64L - 1)K + 1][(1.64D)^{2.5} E_2] \text{ ec. 4.}$$

Donde L es la longitud interna del molino, m (pies); D es el diámetro interno medio del molino, m (pies); E₂ es la potencia neta utilizada en un molino de laboratorio de 0.6 por 0.6 m (2 por 2 pies), en condiciones similares de operación, y K es 0.9 para molinos con longitudes menores de 1.5m (5 pies) y 0.85 para molinos mayores de 1.5m. Esta fórmula puede utilizarse para aumentar a escala de experimentos de molienda en unidades piloto en las que varíe el diámetro y la longitud del molino, pero el tamaño de las bolas y la carga de las mismas como fracción del volumen del molino permanecen sin alteraciones. Este procedimiento ha proporcionado resultados dignos de confianza.

2.3.6 Motor y transmisión.

El consumo de energía de los molinos de bolas y varillas es básicamente constante y depende en forma principal del diámetro y carga de las bolas. En esta circunstancia, el equipo adecuado es el motor síncrono. Los grandes molinos de bolas son impulsados ahora con motores hasta de 7500 kW (10 000 Hp). Estos requisitos tan grandes de energía hacen que la selección de los sistemas de transmisión y engranaje sea extremadamente grande la transmisión de los grandes

momentos de torsión desde el piñón a los engranes del molino llega a ser un problema no muy confiable y su costo es prohibitivo. Los grandes molinos son impulsados por un arreglo de piñón múltiple con reguladores de carga.

2.4 Equipos patentados.

- Molino de bolas Allis–Chalmers.
- Tipo rebosamiento
- Molinos de varios compartimientos.
- Molinos de tubo y Kennedy Van Saun
- Molino de bolas Marcy.
- Molino Koppers Co. Inc.
- Molino Hardinge.
- Molinos autógenos de volteo.
- El molino Aerofall
- Molino Rockcyl.
- Molino Rockpeb.
- Molinos no rotatorios de bolas o cuentas perforadas.
- Molino Sweco de dispersión.
- Molino Attritor.
- Molino Koppers.
- Molino Bureau.
- Molino vibratorio.
- Molino Vibracron.

2.5 Métodos de molienda.

2.5.1 Molienda planetaria de bolas.

Este es un método que aumenta la fuerza gravitacional que actúa sobre las bolas en un molino de este tipo. Por ejemplo, los metales refractarios y los carburos se pueden moler 1 a $2.6 \mu\text{m}$ en un lapso de 5 a 20 minutos, en un aparato capaz de aplicar una fuerza centrífuga de 10 a 50 g. Los molinos tipo planetario Pulverit son fabricados por la compañía Geoscience Inc.

Los molinos planetarios de bolas de alta velocidad pueden utilizarse para efectuar pruebas rápidas de simulación de molienda de materiales en molinos de bola. El tamaño de los molinos de alta velocidad puede ser menor que el tamaño de los molinos de bolas de igual capacidad.

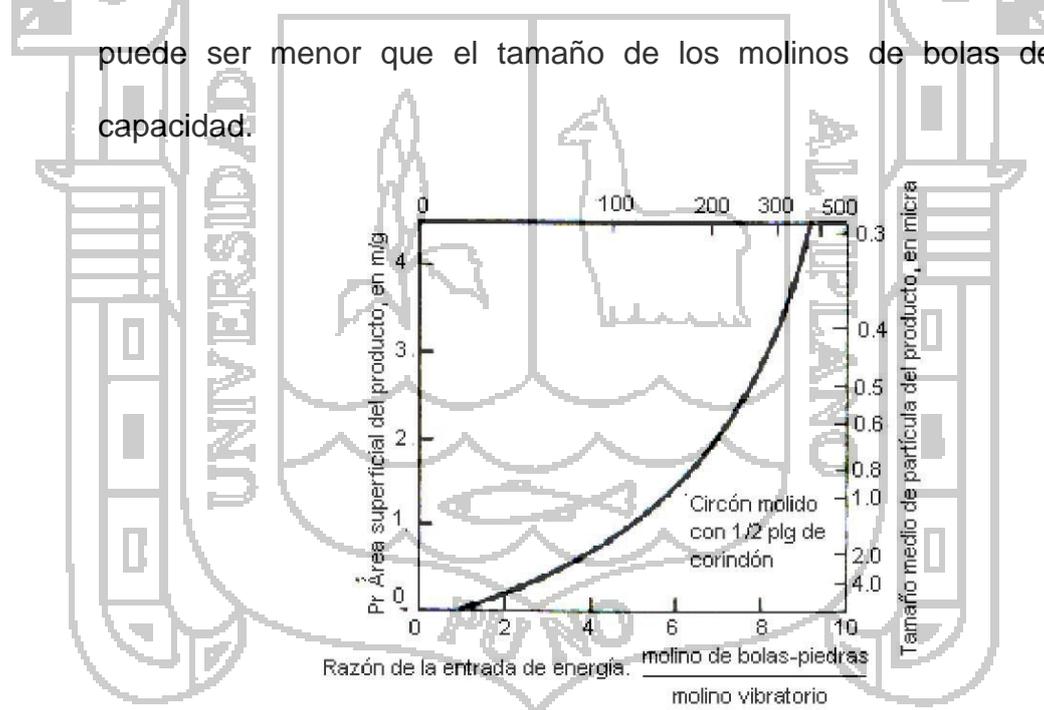


Fig. No. 6, Comparación de la energía entre molinos de bolas convencionales y vibratorias, contra la finura del producto

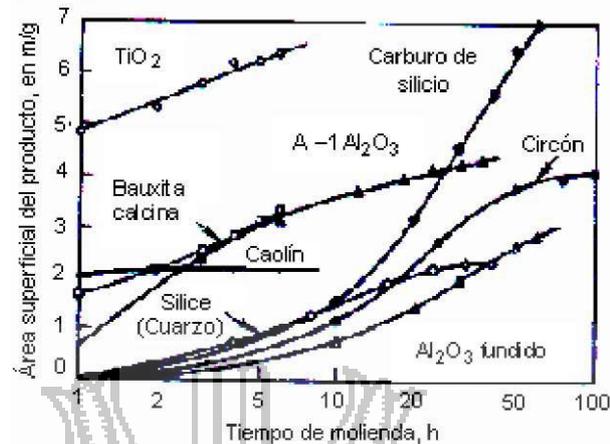


Fig. No. 7, Rendimiento típico de un molino vibratorio

Clasificadores de partículas por tamaño que se utilizan con molinos de trituración.

En los molinos de bolas o de tubo pueden funcionar en circuito cerrado con clasificadores de aire externos, con o sin barrido o arrastre de aire. Si se utiliza esta última operación, se acostumbra colocar un separador de ciclón entre el molino y el clasificador. Asimismo, otras clases de maquinarias de molienda funcionan en circuito cerrado con clasificadores externos de tamaño. Sin embargo, muchos tipos de trituradoras tienen arrastre de aire y están tan íntimamente conectados con sus clasificadores, que estos últimos se denominan clasificadores internos.

2.5.2 Clasificadores en seco

Las cribas en seco se utilizan primordialmente en circuitos de trituradoras, ya que son más eficaces a niveles de malla 4, aunque en ocasiones se emplean hasta de malla 35. Por ejemplo, se pueden citar las cribas Hummer (W.S. Tyler, Inc.) o las Rotex (Orvill-Simpson, Co.) y el separador Vibro-Energy (Sweco, Inc.).

La mayor parte de los circuitos de molienda en seco utilizan clasificadores de aire. Hay varias clases, pero todos ellos emplean los principios del arrastre por aire y la inercia de las partículas, que dependen del tamaño de las mismas. El tipo más simple de clasificador de aire es el elutriador, de los cuales un ejemplo es el clasificador de tipo de expansión Kennedy Van Saun. El clasificador Zig-Zag (AlpineAmerican Co.) es un elutriador a contracorriente de varios elementos. La eficacia de la separación aumenta con la cantidad de elementos y estos dispositivos son eficaces en la gama de mallas 30-80.

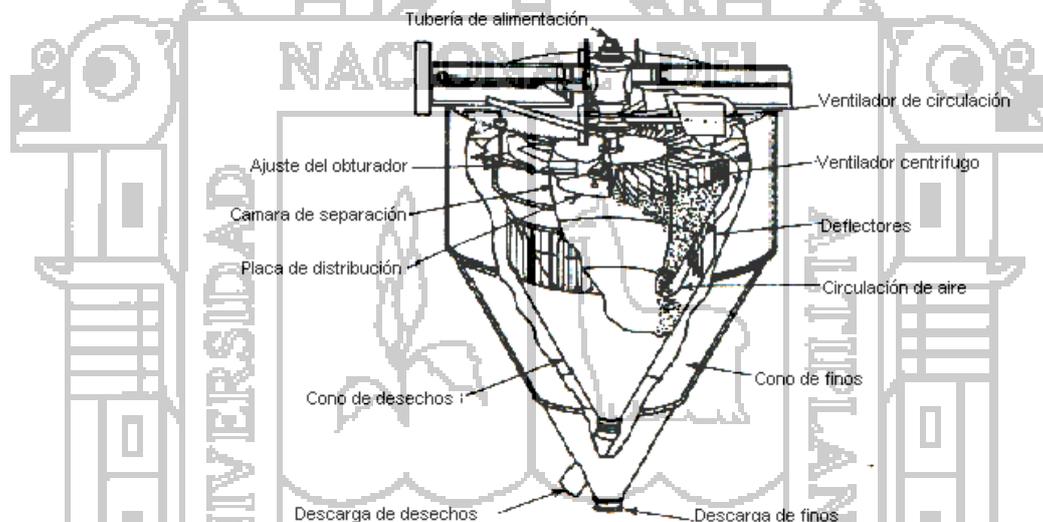


Fig. No. 8, Separador centrífugo Gayco

Otro tipo de clasificador dirige una corriente de aire a través de la corriente de partículas que se desean clasificar. P.e., de éste es el clasificador de flujo radial (Kennedy Van Saun Corp.) que se caracteriza por tener elementos ajustables que controlan el flujo y la clasificación. Uno de los desarrollos adicionales basados en este principio es el clasificador Vari-Mesh (Kennedy Van Saun Corp.), que controla la clasificación por

medio de desviadores de flujo ajustables. Un cambio en la dirección de flujo de aire es el principio de operación del clasificador superfino de flujo inverso (Koppers Co. Inc.) (Fig. No. 8).

2.5.3 Las aletas rotatorias.

Son los elementos principales de varios tipos de clasificadores. Las aletas establecen un movimiento centrífugo que tiende a lanzar hacia el exterior las partículas más gruesas. Por ejemplo, está el Mikro-Atomizer, en el que un ventilador externo obliga al aire a circular hacia adentro pasando a través de las aletas y arrastrando los finos. El movimiento centrífugo devuelve las partículas más gruesas hasta los martillos. Las aletas del clasificador tipo zumbador o de aletas perforadas que se muestran en el molino Raymond de lado alto tienen un efecto centrífugo similar que lanza a las partículas gruesas contra la pared de la cámara, en donde la menor velocidad de aire de la capa límite les permite volver a caer dentro de la zona de molienda.

Las aletas del rotor constituyen también un elemento de varios clasificadores externos que se emplean en la molienda seca en circuito cerrado. Éstos se denominan generalmente separadores o clasificadores mecánicos de aire. Como ejemplo se citarán el clasificador Whirl-wind (Sturtevant Mili Co.), el separador centrífugo Gayco (Universal Road Machinery Co., véase la Fig. No. 8) y el separador tipo zumbador (Raymond División of Combustión Engineering Inc.). El material alimentado penetra en estos dispositivos a través de un canal colocado en la parte superior, y se distribuye entre dos placas giratorias de alimentación. Las partículas gruesas caen en un cono interno, en tanto

que los finos deben pasar al interior a través de las aletas del rotor para moverse en sentido ascendente sobre la placa superior. El ventilador que se encuentra en la parte superior de la unidad hace circular el aire y los finos hacia afuera y abajo entre el cono central y una cubierta cónica exterior, hasta que pasa hacia adentro atravesando un conjunto de aspas fijas, cruzando por el material grueso descendente para ascender una vez más y elutriar dicho material grueso. Por esto se dice que estos clasificadores utilizan varios principios de separación.

2.6 Molinos de martillos.

Estos molinos que sirven para pulverizar y desintegrar funcionan a altas velocidades. El eje del rotor puede ser vertical u horizontal, aunque predomina esta última modalidad. El eje sostiene a los martillos, llamados a veces agitadores, y pueden ser elementos en forma de T, de estribo, barras o anillos fijos o pivotados al eje o a los discos fijos que van sobre el eje. El rotor funciona dentro de un recipiente que contiene placas o revestimientos demolienda. El espacio abierto que se conserva entre los revestimientos y el rotor es importante con respecto a la finura del producto. La acción de molienda resulta de los impactos y la fricción entre los grumos o partículas del material alimentado, la cubierta y los elementos de la molienda. La finura del producto se regula cambiando la velocidad del rotor, la velocidad de alimentación o la abertura entre los martillos y la placa de molienda, así como cambiando la cantidad y el tipo de martillos utilizados y el tamaño de las aberturas de descarga.

La descarga por criba o rejilla de un molino de martillo sirve como clasificador interno, pero su área limitada no permite un

aprovechamiento eficaz cuando se requieren aberturas pequeñas. Para satisfacer las especificaciones críticas del tamaño máximo en la gama intermedia, el molino de martillos puede operarse en circuito cerrado con cribas exteriores de mayor área que la que podría emplearse dentro del molino propiamente dicho. En tal caso, la criba de descarga de éste cuenta con aberturas mayores para retener el material de tamaño excesivo dentro de la zona de molienda.

El molino de martillos se fabrica en gran número de tipos y tamaños y se utiliza en una mayor variedad de material es suaves, que cualquier otra clase de maquinaria. La materia prima que se le alimenta debe ser del tipo no abrasivo con durezas de 1.5 o menos. El molino es capaz de recibir material de alimentación de 2 cm (3/4 de pulg), dependiendo del tamaño de la garganta de dosificación, y de reducirlo a un producto sustancialmente capaz en su totalidad de atravesar una malla No. 200. Para producir material es dentro de la gama de tamaños finos, puede operarse en combinación con clasificadores de aire exteriores como el que se ilustra en la fig. No. 9. Hay varias máquinas que tienen clasificadores de aire internos.

2.6.1 Molinos de martillos sin clasificadores de aire internos.

El Mikro-Pulverizer (Fig. No. 9) (Pulverizing Machinery Co.) es un molino de martillos de alimentación controlada sellada, abertura angosta y alta velocidad que se emplea para gran variedad de materiales no abrasivos, entre cuyas principales aplicaciones están azúcares, negro de humo, compuestos químicos, productos farmacéuticos, plásticos, materias primas de tinturas, colores secos y cosméticos. En la tabla. No.

1 se proporcionan datos sobre varios aspectos de su funcionamiento. Las velocidades, tipos de martillo, dispositivos de alimentación, las variedades de armazones y las perforaciones de las cribas o pantallas pueden alterarse para satisfacer las aplicaciones, en particular, obteniendo con ello finuras y características de molienda que cubren una gran variedad de posibilidades. Algunas de las moliendas llegan a tener una finura del 99.9 % con un tamiz de malla 325. El material alimentado debe reducirse casi siempre a 4 cm (1 1/2 pulg) o más fino. Si el material de alimentación es mayor, quizá se requiera una trituradora auxiliar, de preferencia como unidad independiente, debido a que es difícil sincronizarlos dado que la trituradora se caracteriza por tener capacidades más grandes que el pulverizador. El acoplamiento adecuado se logra mediante una regulación cuidadosa de las velocidades relativas de la trituradora y el tornillo o tornillos de alimentación.

En ocasiones se acostumbra emplear un revestimiento reemplazable para la cubierta del bastidor del molino en la forma de multitud de cortes, cuyo objeto es promover el rompimiento directo de las partículas que los martillos rotatorios lanzan contra la pared. Las puntas de los martillos pueden estar provistas de inserciones de carburo de tungsteno para darles mayor resistencia al desgaste, o bien, con puntas de Hastelite. Se puede añadir un alimentador inyector de aire para proyectar las partículas del material directamente frente a las puntas del martillo con el fin de proporcionar un golpe más directo e incrementar con ello la eficiencia del molino. La alimentación húmeda puede cargarse con

dosificadores de tornillo o bombas, cuando se trate de molienda por vía húmeda.

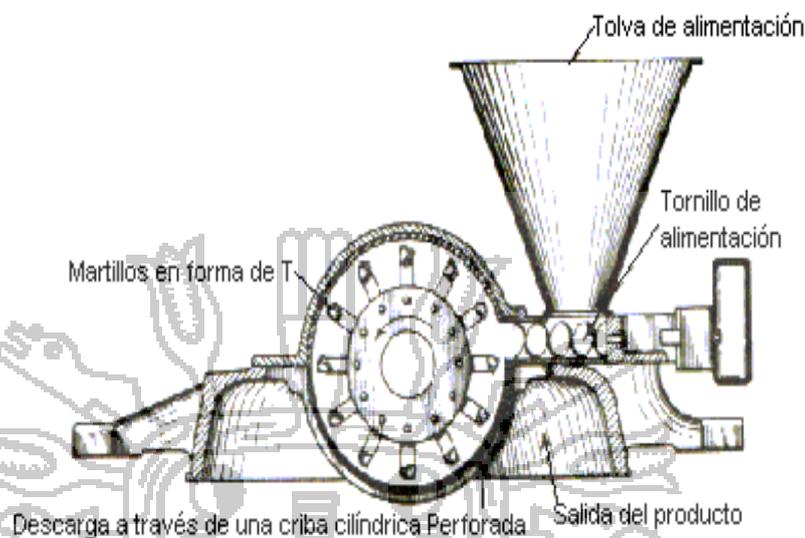


Fig. No. 9, Molino de martillo Mokro-Pulverizer

Existe un sistema de molienda criogénico, para la molienda de materiales resilientes y sensibles al calor. Consiste en un pre-enfriador y una unidad de alimentación en la que se rocía nitrógeno líquido al material que se va a moler. El material se somete a un tratamiento de quebrado a una temperatura de -200°C antes de la molienda.

2.6.2 Molinos Fitz.

Los molinos Fitz (Fitzpatrick Co.) consisten en varias series de molinos de martillos en configuraciones que se adaptan a una gran variedad de aplicaciones para el procesamiento de alimentos. Hay molinos de martillos y criba de alta velocidad con martillos planos para producir impacto, y martillos angostos o cortantes para materiales plásticos o fibrosos resistentes. También se producen molinos giratorios largos de diámetro pequeño para el procesamiento de pastas, así como

masticadores dentados de dos ejes. Hay también trozadores y desmenuzadores dentados de un solo rodillo, con cuchillos fijos.

La compañía Prater Industries, Inc. Fabrica molinos con cribas y martillos angostos de vaivén para semillas oleaginosas y materiales fibrosos.

2.6.3 Molinos de martillos con clasificadores de aire internos

El pulverizador Imp (Raymond División, Combustión Engineering Inc.) es un molino de martillos con arrastre o barrido de aire, como se observa en la fig.No.10. Esta máquina se fabrica en muchos tamaños, en donde el más pequeño tiene una hilera de martillos que requieren 7.5 kW (10hp), hasta el de mayor tamaño, con seis hileras de martillos y un requisito de potencia de 150 kW (200 hp) para impulsarlos. Las máquinas están equipadas con una tolva, debajo de la cual se tiene un alimentador de estrella, activado por un mecanismo de trinquete y engranaje.

En uno de los ejes del extremo del martillo está un ventilador y entre éste y los martillos se encuentra el separador tipo zumbador, que consiste en dos o más aletas delgadas cuyas puntas describen una leve curva para conformarse al bastidor que las contiene. La distancia entre las aletas y la cubierta se regula moviendo el separador tipo zumbador a lo largo del eje. Conforme éste se desplaza hacia los martillos, el producto resultante es más grueso. El producto clasificado pasa por el ventilador y se sopla hasta el recolector de ciclón, de donde se descarga en depósitos o recipientes. El aire retoma al pulverizador, con lo que se completa el ciclo.

Es necesario desalojar una cantidad pequeña de aire excedente

en dirección hacia un colector final de polvo. Si se tiene un cuidado apropiado durante la alimentación del material y el manejo del producto, se obtendrá un funcionamiento relativamente libre de polvo.

Estas unidades Imp son excelentes como dispositivos de secado y se emplean profusamente para llevar a cabo simultáneamente tareas desecado, pulverización y clasificación.

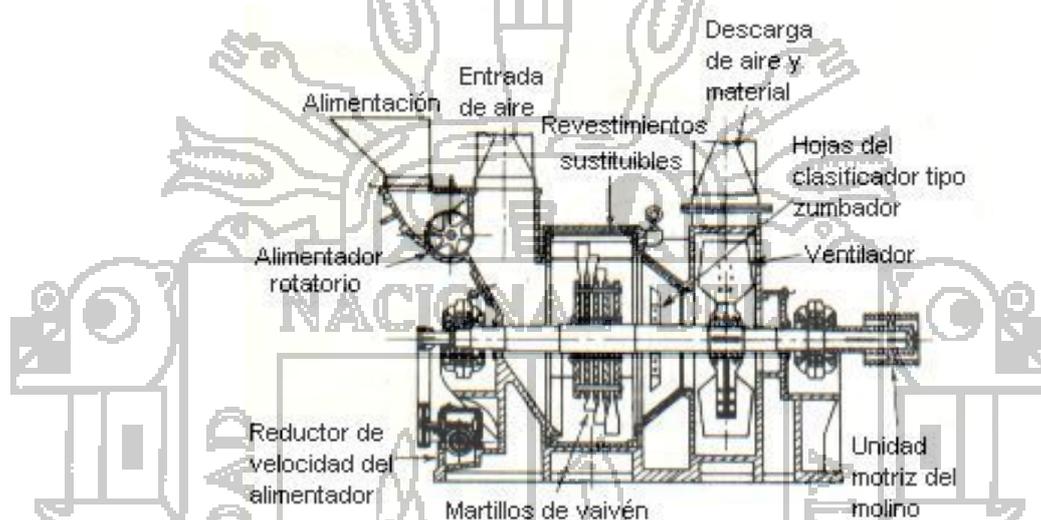


Fig. No. 10, Clasificación por aire con aleta perforada tipo zumbador, en combinación con un molino Raymond Imp.

2.7 Molinos de clavijas.

En contraste con los martillos periféricos de tipo rígido u oscilante, se tiene una clase de molinos de alta velocidad que cuentan con quebrantadores de clavijas, dentro del circuito de molienda. Estos pueden estar sobre un rotor con clavijas de estator entre hileras circulantes de clavijas que van sobre el disco del rotor, o bien, están montados en rotores que funcionan en direcciones opuestas, asegurando con ello un mayor diferencial de velocidad. Véase también el pulverizador Mikro-ACM que se describe más adelante.

2.8 Molinos de impacto.

2.8.1 Molinos Kollopex.

Los molinos Kollopex (Alpine American Corp.) son molinos de impacto de alta velocidad con un disco estacionario y uno sin perno rotatorio. Los molinos se operan sin un cedazo y por lo mismo pueden usarse con materiales que tienden a bloquear otros sistemas (véase fig. No. 11).

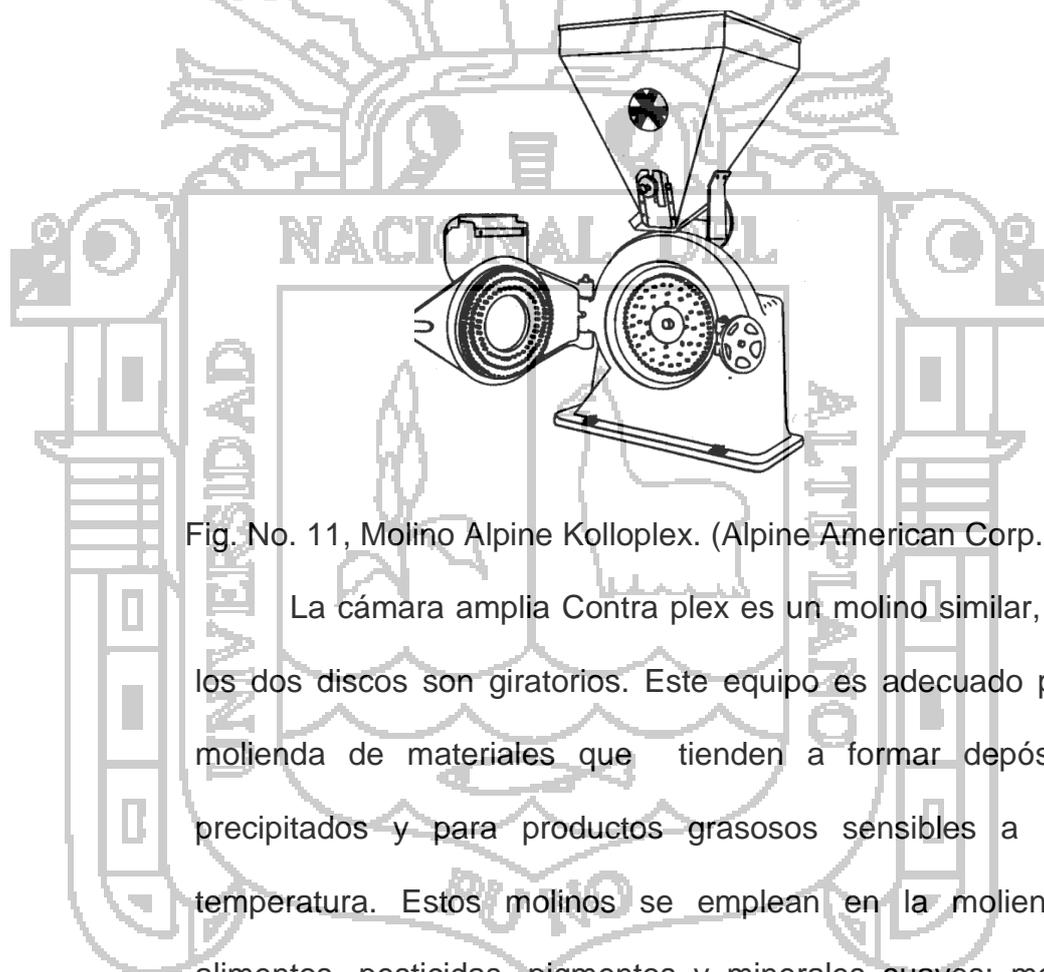


Fig. No. 11, Molino Alpine Kollopex. (Alpine American Corp.)

La cámara amplia Contra plex es un molino similar, donde los dos discos son giratorios. Este equipo es adecuado para la molienda de materiales que tienden a formar depósitos o precipitados y para productos grasosos sensibles a la temperatura. Estos molinos se emplean en la molienda de alimentos, pesticidas, pigmentos y minerales suaves; molienda húmeda de suspensiones de PVC y la trituración de semillas de cacao, entre otros.

2.8.2 Molinos de impacto Entoleter.

Los molinos de impacto Entoleter (Entoleter, Inc.) son máquinas de eje vertical en las que el material de alimentación, al llegar al eje, es obligado a moverse en forma rotatoria y se lanza hacia el exterior a partir del rotor, para chocar contra un anillo externo. Se ha encontrado que las estructuras de clavijas son eficaces y, en éstas, las clavijas que van sobre el rotor realizan la tarea primaria de ruptura, mientras que el anillo externo de clavijas realiza la reducción subsecuente. Se dispone de una gama amplia de velocidades, en donde las más altas son para pulverizaciones finas. Estos molinos trituran una gran variedad de sustancias de flujo libre o semi libre, hasta llegar a tamaños controlados predeterminados. Entre éstos están los plásticos, hule, asbesto a fibra, granos y harina, carbón, arcillas, escorias y sales. En algunos casos se requiere la clasificación externa del material para devolver el de tamaño excesivo una vez más al molino. Los materiales plásticos se fragilizan por medio de nitrógeno líquido u otros refrigerantes apropiados para reducir su elasticidad. Para las velocidades más elevadas, las clavijas del estator se montan sobre un anillo que se mueve en sentido inverso al del rotor central. Los molinos se caracterizan por una potencia baja, calentamiento reducido y gran capacidad.

2.9 Molinos de anillo y rodillo.

Los molinos de anillo y rodillo (fig. No. 12) vienen equipados con rodillos que operan en contra de anillos de molienda. La molienda se efectúa entre las superficies de los elementos de trituración, es decir entre el anillo y los rodillos. La presión se aplica por medio de fuertes resortes o a través de la fuerza

centrífuga que ejercen los rodillos sobre el anillo. Puede hacerse que el anillo o los rodillos sean estacionarios, o que el primero esté en posición vertical u horizontal. Este tipo de molinos se denomina también de anillo y rollo, de rodillos o de velocidad intermedia. Los molinos de bola y anillo y los de taza o tazón son del tipo de anillos y rodillo.

Es preciso hacer una distinción entre los molinos de anillo y rodillo y los de rodillo. Los molinos de rodillo se emplean en la industria de las pinturas y se describen en la subsección "Molinos de frotamiento por discos", y los molinos de rodillo para harina se describen en la subsección "Cereales y otros productos vegetales".

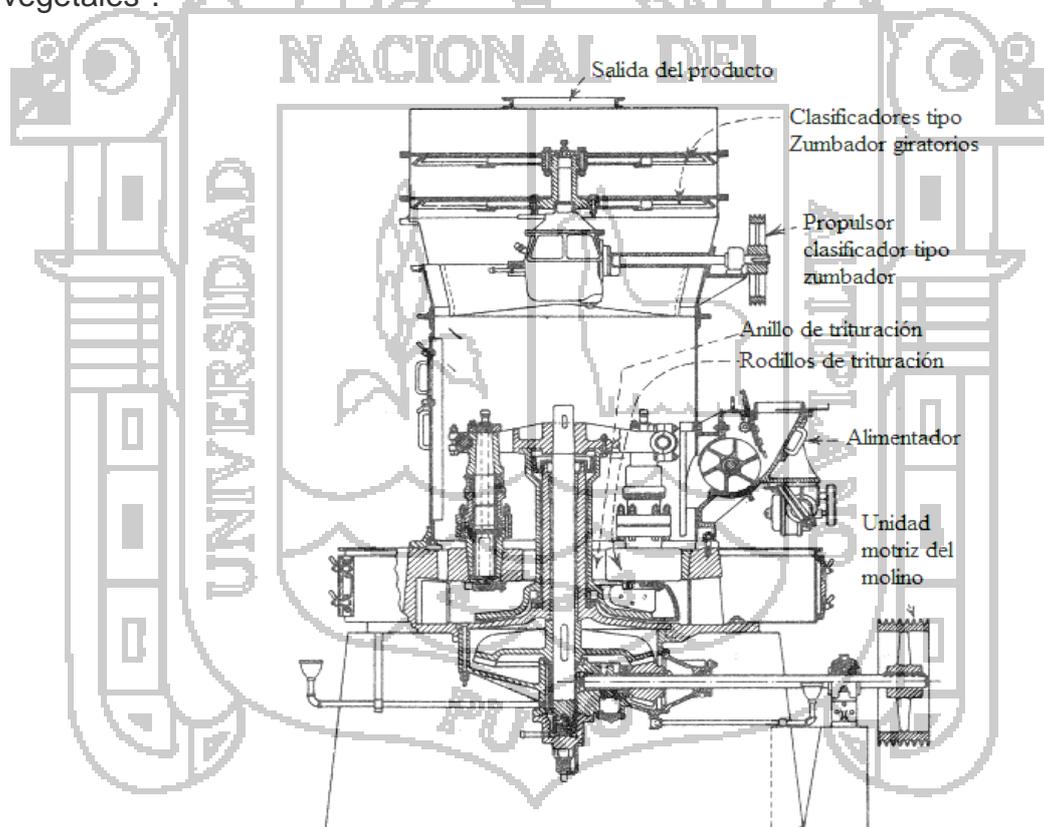


Fig. No. 12, Molino Raymond de lado alto con clasificador Whizzer interno.

2.9.1 Molinos de anillo y rodillo sin clasificación interna.

El molino Sturtevant tiene un anillo cóncavo vertical de molienda y se utiliza para materiales no metálicos, particularmente la roca fosfórica. Un molino No. 1 con clasificador exterior de aire muele de 1.8 a 3.6 Mg/h (2 a 4 ton/h) de piedra caliza o roca fosfórica al 90% que atraviesa una malla No. 80. El molino Kent Maxecon se emplea para bauxita, coque, piedra caliza, magnesita y roca fosfórica. El anillo giratorio de molienda tiene un eje horizontal y el material alimentado cae sucesivamente a través de varias muescas o cortaduras. La construcción abierta reduce al mínimo la contaminación al cambiar de un material a otro. La capacidad en circuito cerrado con criba externa o clasificador de aire es de 3.6 Mg/h (4 ton/h) de roca fosfórica para acidulación o 9.1 Mg/h (10 ton/h) de piedra caliza para usos agrícolas.

2.9.2 Molinos de anillo y rodillo con clasificación interna por tamices.

La acción de molienda del molino Hércules (Bradley Pulverizer Co.) consiste en que los tres rodillos se encuentran girando alrededor y contra de un troquel para crear una presión de molienda de aproximadamente 100 MPa (15 000 lbf/pie²). Esto puede producir una piedra caliza o roca fosfórica en un tamaño de malla menos 20, cuando la alimentación es de menos 5 cm (2 pulg). El material se descarga de la cámara de molienda a través de una criba. La capacidad de este equipo es relativamente alta y llega a tener valores entre 23 y 45 Mg/h (25 a 50 ton/h) de piedra caliza seca de dureza promedio. Es posible alcanzar otros tamaños de producto cambiando la abertura de la criba o tamiz.

2.9.3 Molinos de anillo y rodillo con clasificación interna por aire.

Los pulverizadores Babcock&Wilcox, Tipo B, serie 100, constan de una sola hilera de bolas que operan entre un anillo inferior estacionario y un anillo superior giratorio. Los Tipos B, series 200 y 300, están diseñados con varias hileras de bolas para asegurar una máxima capacidad en el espacio ocupado. El pulverizador serie 200 tiene dos hileras de bolas, una sobre la otra. El anillo superior y el inferior son estacionarios y cuentan con un anillo intermedio que es el que gira. Se tienen resortes externamente ajustables que son los que cargan los elementos de molienda a la presión requerida. Los pulverizadores de la serie 300 incluyen una tercera hilera de bolas para incrementar más aún la capacidad factible.

2.9.4 Molino de anillo y rodillo Raymond.

El molino de anillo y rodillo Raymond (fig. No. 12) es del tipo de clasificación interna por aire. La base del molino cuenta con un anillo de molienda que está rígidamente fijo a ella y descansa en el plano horizontal. Debajo del anillo de molienda están las aberturas tangenciales de aire por las que éste penetra a la cámara de molienda. Cuenta con un eje vertical impulsado desde la parte inferior que sujeta los muñones de rodillo. Los rodillos de la base giran sobre sus propios cojinetes, al mismo tiempo que se desplazan en torno al anillo. La fuerza centrífuga obliga a los rodillos pivotantes a oprimirse contra el anillo. La materia prima proveniente del alimentador cae entre los rodillos y el anillo, en donde es triturado. Tanto el movimiento centrífugo del aire como el de la reja mueven el material grueso hacia la línea de presión. El aire arrastra los

finos y los transporta hacia arriba, partiendo de la zona de molienda, haciendo cierta clasificación en este punto. También se monta un clasificador de aire por encima de la zona de molienda para regresar el material de tamaño excesivo.

El método de clasificación utilizado con los molinos Raymond depende de la finura deseada. Si se necesita un producto de finura intermedia (hasta de 85 o 90% a través de una malla No. 100), se emplea un clasificador de aire de un solo cono, que consiste en una cubierta que rodea a los elementos de molienda y tiene una salida en la parte superior por la que se descarga el producto terminado, lo que se conoce como molino de lado bajo. En el caso de productos más finos y cuando se requieren cambios frecuentes en la finura, se utiliza el clasificador tipo Whizzer. Este tipo de molino es conocido como molino de lado alto (fig. No. 12).

2.9.5 Molino Raymond de anillo y rodillo con clasificación interna por aire.

El molino Raymond de anillo y rodillo con clasificación interna por aire se emplea para la molienda de finos en grandes capacidades de casi todos los minerales metálicos más suaves. Se manejan económicamente en estas unidades. Los materiales naturales usuales que se tratan incluyen baritas, bauxita, arcilla, yeso, magnesita, roca fosfórica, pigmentos de óxido de hierro, azufre, talco, grafito y una multitud de materiales similares. Muchos de los pigmentos elaboradores y gran variedad de compuestos químicos se pulverizan a finuras extraordinarias en este tipo de unidades. Entre estos materiales se incluyen fosfato de

calcio, fosfato de sodio, insecticidas orgánicos, almidón de maíz pulverizado y muchos otros materiales similares. Cuando estos molinos funcionan en forma adecuada en succión, son completamente automáticos y quedan libres de polvo. Se fabrican en seis tamaños básicos con potencias conectadas que van de 28 a 500 kW (40 a 700 hp) y las capacidades varían de 0.5 a 450 Mg/h (0.5 a 50 ton/h) dependiendo de la naturaleza del material y la finura exacta de la molienda.

2.9.6 Molino de anillo y rodillo Williams.

El molino (Williams Patent Crusher & Pulverizer Co.) se puede adquirir con un clasificador interno del tipo de aletas rotatorias (el clasificador Spinner de aire), o bien con un clasificador de doble cono.

2.10 Molinos de taza.

En el molino de taza Raymond, los muñones que sujetan los rodillos de molienda son estacionarios en tanto que el anillo de molienda es el que gira. La presión de molienda se produce por medio de resortes que se ajustan para conferir la presión necesaria, y la distancia entre los rodillos y el anillo se ajusta a cualquier abertura predeterminada. Los rodillos no tocan el anillo, de manera que no existe ningún contacto de metal a metal entre las superficies de molienda. La materia prima proveniente del alimentador cae dentro de la taza o tazón en donde, debido a la fuerza centrífuga de rotación, se ve forzada a concentrarse en la periferia entre el anillo y los rodillos, en donde se pulveriza. La acción de los rodillos ahusados sobre el ángulo del anillo hace que el material pulverizado ascienda y salga de la cámara de molienda. El aire con el material pulverizado pasa a un clasificador tipo doble cono, en donde el

producto fino se separa y las partículas de mayor tamaño caen nuevamente a la taza donde se mezclan con la materia prima recién recibida. Este molino se diseñó especialmente para pulverizar carbón para el encendido directo de calderas. Asimismo, su uso se ha difundido mucho para el encendido de hornos industriales de diversos tipos. Los desechos de hierro y otros materiales duros extraños se expulsan por lo general del molino en forma automática a través de una boquilla.

2.11 Molinos de frotamiento por discos.

El molino de discos o fricción es un equivalente moderno de los antiguos molinos de piedra. Las piedras se sustituyen por discos de acero en los que se montan placas de molienda intercambiables ya sea metálica o abrasiva, que giran a velocidades muchos mayores, permitiendo con ello una gama más amplia de aplicaciones. Estas máquinas tienen un lugar especial en la molienda de materiales orgánicos resistentes, como la pulpa de madera y granos de maíz. La molienda se lleva a cabo entre las placas que pueden operar en plano vertical u horizontal; uno o los dos discos giran y, cuando los dos lo hacen, la rotación se efectúa en direcciones opuestas. El conjunto, que comprende un eje, los discos y las placas de trituración, se denomina impulsor. El material de alimentación entra por un canal cerca del eje, pasa entre las placas de molienda y se descarga en la periferia de los discos.

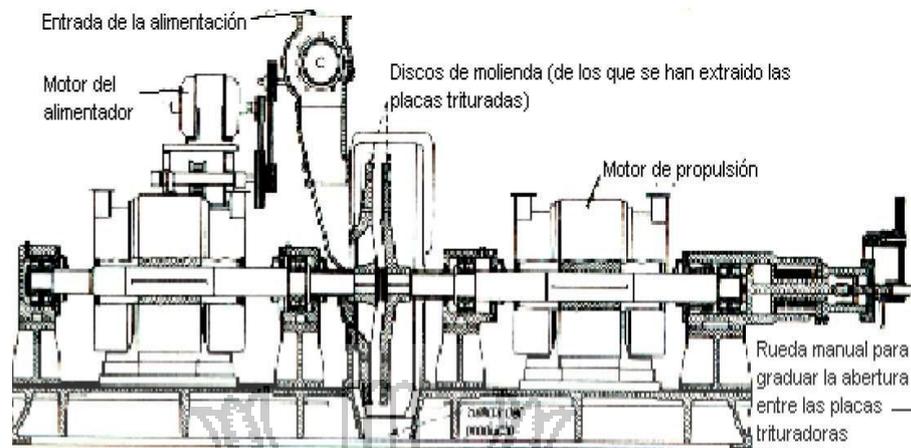


Fig. No. 13, Molino de frotamiento de doble impulsor.

(Sprout, Waldron Companies.)

El molino de fricción Sprout-Waldron (fig. No. 13) se produce en modelos de uno o dos impulsores con discos de 48 a 122 cm (12 a 48 pulg) de diámetro y cuyas potencias ascienden a 1100 kW (1500 hp). El uso de una variedad de placas y construcciones de cubierta hace que estas unidades tengan aplicaciones de lo más variado, yendo de granulación a pulverización y desmenuzamiento. El modelo de un solo impulsor con placas, que cuenta con hileras circulares concéntricas de dientes realizados en la malla de la placa giratoria, oponiéndose a los que se encuentran en la placa estacionaria, actúa de manera muy semejante al molino de martillos, y los dientes actúan como los martillos fijos, sirviendo para aplicaciones de la índole antes citada.

2.11.1 Molino de dos discos.

Los molinos de dos discos (Bauer Bros. Co.), se emplean para la molienda de sustancias fibrosas y no fibrosas, el esponjado de materiales fibrosos, el mezclado intensivo de polvos finos y la hidratación de materiales celulares. Se fabrican en tres tamaños con diámetros de disco

que van de 61 a 91 cm (24 a 36 pulg) y potencias de 37 a 150 kW (50 a 200 hp).

En general, los molinos de un solo impulsor se usan para los mismos fines que los de dos impulsores, excepto que reciben una materia prima más gruesa, su gama de reducción para un material dado es más limitada y ofrecen, correspondientemente, salidas superiores con un gasto menor de potencia. Además, hay varias aplicaciones singulares que caracterizan a estas unidades, por ejemplo, el esponjamiento o mullido de la pulpa en hojas proveniente de rodillos continuos para las que los medios de entrada al molino de doble impulsor no son apropiados. Se puede utilizar la misma variedad de tipos de placas en los molinos de uno o dos impulsores. Aunque las placas de dientes cortantes se utilizan en ciertas aplicaciones para simular la acción del molino de martillo, en general se aplican casi siempre a tareas especializadas de rompimiento, desgarramiento o quebrantamiento controlado, como sucede al descascarar la materia prima. Los datos de rendimiento incluidos en la tabla. No. 1 ejemplifican las aplicaciones del molino de frotamiento.

Tabla. No. 1, Rendimiento de los molinos de frotamiento por discos

Material	Detalles de reducción de tamaño	nid.	Cap ., lb/h	p
Celulosa alcalina	Desfibrado por frotación		4	
Asbesto	Mullido y desfibrado	860	2	
Bagazo	Desfibrado	500	1	0
Recortes de bronce	De 1/8 in a tamiz No. 100	826	50	
Cera Carnauba	De tamiz No. 4 a 65% < tamiz No. 60		1	0
Residuos de hierro fundido	De V in a tamiz No. 100	800	100	0
Virutas de hierro fundido	De V in a tamiz No. 100		500	0
Cáscaras de coco	De 2 x 2 x V in a tamiz 5/100		1	7
	De tamiz 5/100 a 43% < tamiz No. 200	560	337	0
Mazorcas de maíz	De 1 in a tamiz No. 10		1	50
Aceite de semilla de algodón y disolvente	Separación de aceites de productos de tamiz 10/200	500	2	0
Mica	De 4x4xV in a tamiz 3/60		2	
	De 80/60 a 75% < tamiz 60/200	800	510	.5
Tortas de semillas oleaginosas (hidráulica)	De V in a tamiz No. 16		15	00
Residuos de semillas oleaginosas (prensa de tornillo)	De 1 in a tamiz No. 16	000	25	00
Residuos de semillas oleaginosas (disolvente)	De V in a tamiz No. 16	000	35	00
Tapos Ramio	Desfibrado para materia prima del papel		1	1
	Desfibrado	440	820	0
Sulfato de sodio	De tamiz 35/200 a tamiz 80/325		11	0
Lamina de pulpa de sulfito	Mullido para la acetilación	880	1	0
Polvo de madera	De tamiz 10/50 a 35% < tamiz No. 100	500	130	5
Resina de madera	De 4 in máx a 45% < tamiz No. 100		7	5
		200		

Fuente: Catálogo de motores eléctricos SIEMENS

- A–Molino de 8 in de un solo impulsor D–Molino de 20 in de dos impulsores
B–Molino de 24 in de un solo impulsor E–Molino de 24 in de dos impulsores
C–Molino de 36 in de un solo impulsor F–Molino de 36 in de dos impulsores.

2.11.2 Trituradora Frigidisc

La trituradora Frigidisc (Young Machinery Co.), es un molino del tipo de fricción por discos de un solo impulsor y de fabricación resistente que se construyó para ser empleada en la industria de la recuperación del hule. Este molino es apropiado para materiales que deben molerse con un mínimo de aumento de temperatura, por ejemplo, a la reutilización de desechos de llantas, caucho sintético y otros materiales de naturaleza dura y elástica. Los dos discos de molienda, uno estacionario y otro móvil, se enfrían por medio de un líquido circulante para poder ejercer en ellos una presión elevada.

2.11.3 Molinos de piedra o muelas de asperón.

Los molinos de piedra o muelas de asperón, son del tipo de fricción que cuenta con piedras duras circulares que sirven como medios de trituración, y son en general muelas francesas, estadounidenses o tipo Esopo, aunque también se utilizan combinaciones de piedras de esmeril, muelas francesas y Esopo, o polvo de piedra y rocas esmeriles. Los molinos de piedras se siguen utilizando para la molienda de ciertos cereales y granos. El material de alimentación entra al molino a través de un hueco central de una de las piedras y se distribuye entre las caras de éstas en donde se va triturando al mismo tiempo que se desplaza hacia la periferia.

2.11.4 Molinos de piedra o de muelas para "molienda de pintura".

Los molinos de piedra o de muelas para "molienda de pintura", se han visto sustituidos por el molino de rodillos (fig. No. 14). Estos últimos constan de dos a cinco rodillos lisos, llamados a veces rollos, que funcionan a velocidades diferenciales. Se acostumbra alimentar una pasta entre los dos primeros, que son de velocidad baja, y se descarga después del último rodillo, de alta velocidad, por medio de una hoja raspadora. La pasta pasa de la superficie de un rodillo a la del siguiente debido a la velocidad diferencial que aplica también un esfuerzo cortante a la película del material que pasa por ellos. La técnica del molino de rodillos y su funcionamiento fueron estudiados por Hummel [J. Oil Colour Chem Assoc., 270–277 (junio, 1950)] y Krekel [Chem. Ing. Tech., 38(3), 229 (1966)] hizo una exposición del desmenuzamiento de conglomerados en este tipo de molino.

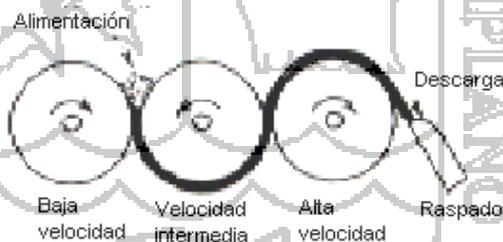


Fig.No. 14, Molino de rodillos para la molienda de pintura.

2.12 Molinos de dispersiones y coloides.

La situación de la molienda cambia cuando, en vez de desmenuzar partículas individuales, es preciso romper grumos o conglomerados unidos por fuerzas más o menos leves. Por ejemplo, está la reducción de pigmentos para incorporarlos a vehículos líquidos en la elaboración de pinturas. Otras estructuras comparativamente débiles pueden reducirse

de esta misma manera. Los purés, las pastas alimenticias, las pulpas y sustancias de esta índole se procesan en este tipo de molino. La dispersión se asocia también con la formación de emulsiones que son básicamente sistemas de dos fluidos. Las mieles, salsas, leche, ungüentos, cremas, lociones, asfalto y las emulsiones de pintura y agua pertenecen a esta categoría. Hay una clase especial de molinos que se utiliza para operaciones de dispersión y de tipo coloidal, y operan basándose en el principio de esfuerzo cortante del fluido a alta velocidad. Aunque son una clase especial de trituradoras, no realizan en realidad un trabajo de molienda propiamente dicho, y su función consiste en separar los conglomerados o bien, en el caso de las emulsiones, cortar las fases de los fluidos a fin de producir gotitas dispersas de tamaño diminuto, del orden de $1 \mu m$.

Un análisis matemático realizado basándose en el funcionamiento de Kady y otros molinos de coloides, coincide perfectamente bien con los resultados experimentales [Turner y Mc Carfhy, Am. Inst. Chem. Eng. J., 12(4), 784 (1966)]. Zim merman y Lavine [Cost Eng., 12(1), 4–8 (1967)] describieron varios modelos del molino Kady citando tanto sus capacidades como sus costos. Los requisitos de energía difieren tanto entre los materiales de que se trate, que con frecuencia se emplean otros dispositivos para alcanzar el mismo fin. Entre éstos están los agitadores de alta velocidad, las mezcladoras de turbina, los molinos de piedras, los vibratorios, así como las muelas o piedras de molino, discos, martillos y rodillos. En algunos casos se han utilizado dispositivos sónicos y se han obtenido buenos resultados.

2.12.1 Molinos de coloides para dispersión y emulsificación.

Los molinos de coloides que se utilizan para la dispersión o la emulsificación, se clasifican en cuatro grupos principales: de martillos o turbina, discos de superficie lisa, discos de superficie rugosa o áspera y los dispositivos de válvula u orificio. El principio de su funcionamiento es crear una corriente de fluido de alta velocidad en la que se ejerzan fuerzas cortantes extraordinarias dentro del fluido, que sirven para dividir las partículas. A menudo se recurre al uso de auxiliares químicos en forma de agentes de dispersión, que son de gran utilidad.

La concentración de energía en los molinos de esta clase es alta, y se tiene una cantidad considerable de calentamiento, efecto que se reduce casi siempre mediante el uso de una chaqueta o cubierta enfriada por agua. En otros casos, como sucede cuando las emulsiones se calientan, la cubierta sirve para efectuar dicho calentamiento. El molino Morehouse (Morehouse Industries, Inc.), es del tipo de disco de alta velocidad (fig. No. 15). La fase no dispersa se alimenta en la parte superior y atraviesa por los discos convergentes, en donde se lanza hacia el exterior en dirección de la periferia. Conforme las partículas grandes se dividen y la dispersión se hace más fina, la corriente se somete a una energía mayor aún entre la zona más angosta del espaciamiento del disco para completar la desintegración y asegurar la inexistencia esencial de partículas de gran tamaño.

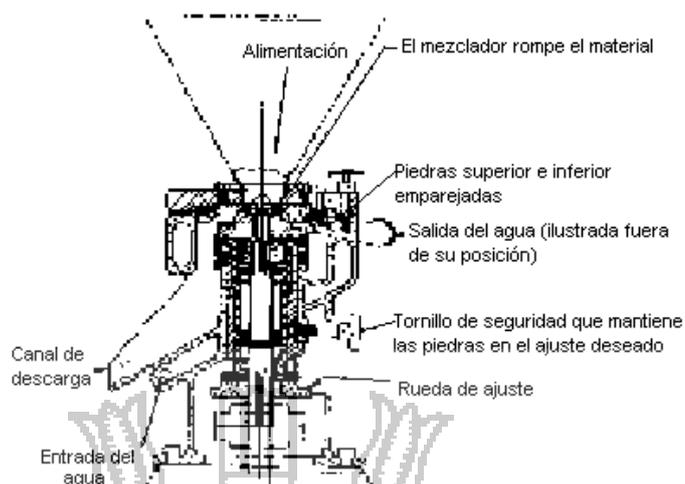


Fig. No. 15, Molino de coloides modelo M. (Morehouse Industries, Inc.)

2.12.2 Molino Premier.

En el molino Premier (Premier Mill Corp.), el rotor tiene la forma de un cono truncado. Las superficies son lisas y se pueden hacer ajustes del espacio libre desde $25 \mu\text{m}$ (0.001 pulg) hasta dimensiones mayores. El molino tiene una chaqueta cubierta para regular la temperatura y se encuentran en construcciones de tipo líquido y conexión directa con rotores de 15 a 38 cm (6 a 15 pulg). Estos molinos operan a 3600 rpm con capacidades que ascienden a $5.7 \text{ m}^3/\text{h}$ (1500 gal/h), y potencias hasta de 75 kW (100 hp). Las partes móviles se fabrican con la aleación In-var, que no se expande lo suficiente para cambiar la abertura de molienda si se produce un calentamiento excesivo. El rotor se recubre con Stellite o carburo de silicio para asegurar una mayor resistencia al desgaste. Para operaciones en plantas piloto, el molino Premier se produce con rotores de 7.5 y 10 cm (3 a 4 pulg). Esos molinos tienen transmisión de banda y funcionan entre 7200 y 17 000 rpm con capacidades de 0.02 a $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ (5 a 150 gal/h).

2.12.3 Molino Charlotte.

El molino Charlotte (ChemiloidCorp.) se basa también en la rotación a alta velocidad, en donde el fluido corre entre un rotor cónico ranurado o estriado y un estator cónico correspondiente que va también ranurado. El espacio libre entre ambos se regula por medio de un dispositivo de ajuste calibrado que se maneja desde el exterior. Las corrientes en remolino que se forman en las ranuras someten al producto tanto a un esfuerzo cortante hidráulico como de impacto. Todos los modelos funcionan a 3600 rpm (Ver tabla No. 2):

Tabla. No.2, Potencias y capacidades del Molino Charlotte.

Potencia		Capacidad	
kW	Hp	l/min	gal/h
2	3	1.3–3.2	20–50
5	7	3.2–6.3	50–100
15	20	6.3–25	100–400
37	50	25–63	400–
			1000
56	75	63–315	1000–
			5000
93	125	190–440	3000–
			7000

Fuente: Catálogo de motores eléctricos SIEMENS

2.12.4 Molino modelo W-10.

El modelo W-10 de laboratorio funciona a 0.75 kW (1 hp) y tiene una capacidad de 4 a 190 L/h (1 a 50 gal/h). Estos molinos se producen con varios materiales, incluyendo acero inoxidable, níquel, monel, bronce y hierro colado. Hay un modelo ND especial diseñado para la elaboración de mayonesa y aceites para ensalada. También hay modelos sanitarios para el procesamiento de materias alimenticias.

El dispersor–homogeneizador. Tri–Homo. Tiene una cabeza de estator y un rotor de alta velocidad para el que se dispone de varios diseños de ranuras, así como los tipos liso y abrasivo.

2.12.5 Molino Gaulin.

El molino Gaulin para coloides, tiene un rotor liso en forma de disco. El material de alimentación se lanza inicialmente hacia afuera a lo largo del disco y luego en tomo al borde y hacia adentro, generando una acción de dos etapas. El ajuste de la abertura en el rotor y la cubierta puede reducirse a magnitudes del orden de $25 \mu\text{m}$ (0.001 pulg). El rotor se fabrica de acero inoxidable y funciona a 3600 rpm y este molino tiene una chaqueta para controlar la temperatura.

2.12.6 Molino Manton–Gaulin.

El molino Manton–Gaulin, utiliza una válvula y un impactor. En este dispositivo, la suspensión gruesa se bombea por un orificio angosto para aumentar su velocidad a niveles cercanos a la sónica. Esto produce fuerzas cortantes poderosas que reciben un mayor impulso conforme la corriente de alta velocidad choca contra un anillo de impacto en donde cambia de dirección. Esta operación finaliza mediante un alto orden de turbulencia que se convierte en trabajo de dispersión.

2.13 Molinos hidráulicos o de chorro.

Los molinos hidráulicos se clasifican según la naturaleza de la acción de molienda que desempeñan. En una de sus clases, la energía del fluido se obtiene en corrientes finas de alta velocidad con cierto ángulo en tomo a una porción, o en toda la periferia de una cámara trituradora y clasificadora. En este

grupo están el Micronizer, el pulverizador de chorro, el Reductionizer, el Jet-0-Mizer, y algunos otros de estructura similar. En la otra clase, corrientes del fluido arrastran las partículas a alta velocidad hacia una cámara en donde se tienen dos corrientes que chocan entre sí. Los molinos Donaldson y algunos otros pertenecen a esta categoría. Ya sea que las partículas sean conducidas por el chorro o se intercepten con chorros en ángulo mientras se desplazan alrededor de la cámara de molienda y clasificación, se registra gran liberación de energía y se obtiene un alto orden de turbulencia que hace que éstas se desmenucen entre sí y se subdividan. No todas las partículas se muelen por completo, de manera que es necesario llevar a cabo una operación de clasificación para devolver las de mayor tamaño a fin de realizar una reducción subsecuente. La mayor parte de estos molinos emplean la energía de la corriente de fluido en movimiento para efectuar una clasificación centrífuga. El molino Donaldson difiere en que utiliza un clasificador mecánico de aire.

2.13.1 Molino Micronizer.

El Micronizer (Sturtevant Mili Co.) consta de una cámara de molienda circular de poca profundidad en donde el material que se va a pulverizar se somete a la acción de varios chorros de fluidos gaseosos que salen de orificios espaciados en torno a la periferia de la cámara, como se observa en la fig. No. 16. El gas rotatorio debe descargarse en el centro, arrastrando con él los finos, en tanto que las partículas de mayor tamaño se lanzan hacia la pared en donde se someten a una reducción posterior por impacto de las partículas contenidas en los chorros aplicados. La salida de la cámara de molienda conduce directamente a un

recolector centrífugo del producto. Se han efectuado estudios fotográficos y matemáticos del funcionamiento de esos molinos.

Los molinos Micronizer se construyen en nueve tamaños estándar cuyos diámetros van de 5 a 107 cm (2 a 42 pulg), con capacidades de 250 g/h a 1.8 Mg/h (lb/h a 2 ton/h).

Tabla No 3

Material	Tamaño prom. del producto, μm	Tamaño del tamaño, No. de tamiz	Velocidad, lb/h	Consumo de fluido, g fluido/g sólidos	
				Aire	Vapor
Grafito de Ceilán	2	3	200		8.5
Criolita	3	60	900		4.0
Piedra caliza	3.5	80	1000		4.0
Talco duro	3.5	20	1000		4.0
Gel de sílice	5.5	8	500		3.5
Talco suave	6.5	20	1800		2.5
Barita	3.5	40	1800		2.2
Carbón bituminoso	2	10	1300		1.2
Resina copal	5	2	600	.7	
Mineral de wolframita	5.5	10	800	.5	
Azufre	3.5	3	1300	.6	
				.5	

Fuente: Catálogo de motores eléctricos SIEMENS

El tamaño del material de alimentación debe ser menor que 1 cm (3/8 pulg). El índice de producción, el consumo de fluidos y las cifras correspondientes a la finura son como se indican en la tabla. No.3.

2.13.2 Pulverizador de chorro.

El pulverizador de chorro (Jet Pulverizer Co.), es otro molino de bandeja poco profunda, con chorro en ángulo, y pertenece al tipo de clasificación radial hacia adentro, como el Micronizer.

2.13.3 Molino Jet-O-Mizer.

El Jet-O-Mizer (Fluid Energy Processing and Equipment Co.) es una máquina que pertenece al grupo de molinos que utiliza un toro elongado y hueco que se coloca en posición vertical. El principio de operación es semejante al del Micronizer, en donde el material de alimentación entra tangencialmente a la corriente que fluye en remolino y los materiales finos salen por el centro.

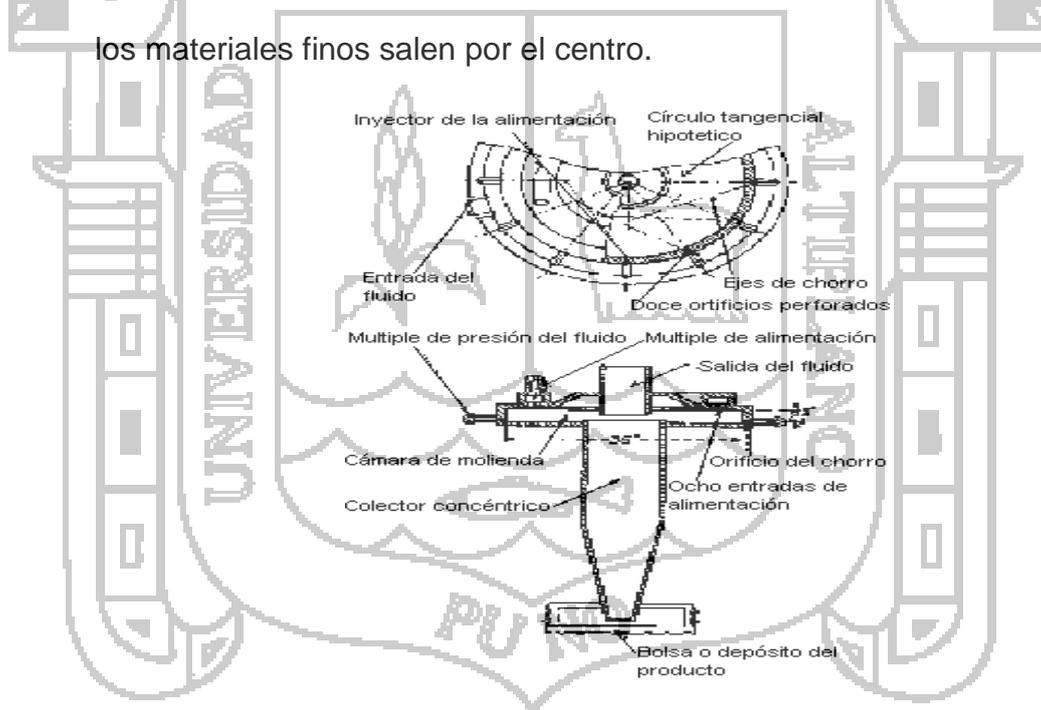


Fig. No. 16, Molino hidráulico (de chorro) Micronizer.

2.13.4 Molino de aire Trost de la Colt Industries.

Se encuentran disponibles en cinco tamaños (fig. No. 17). El más pequeño (Gem T) es una unidad de investigación y puede emplearse para

estudios de molienda fina. Las capacidades de los molinos de este tipo son de 1 a 2300 kg/h (2 a 5000 lb/h). La velocidad de flujo de aire varía de 0.2 a 28 m³/min (7.0 a 1000 pie³/min). Es posible la encapsulación de partículas mediante la inyección de material de recubrimiento en la alimentación.

El pulverizador de chorro Majac (Donaldson Company, Inc.) pertenece también al tipo de chorro opuesto, aunque su clasificador es mecánico (fig. No. 18). Se acostumbra emplear un alimentador de tornillo o de otro tipo para descargar el material que se va a pulverizar en la zona de impacto o dentro del clasificador, dependiendo de la materia prima de que se trate. El fluido y el polvo de los chorros pasan al clasificador mecánico que se localiza arriba. El material de tamaño excesivo fluye en sentido descendente pasando por un espacio anular y actuando en contra del aire de elutriación, atravesando dos brazos descendentes hasta las boquillas, en donde se acelera por medio de corrientes de fluido opuestas de alta velocidad que chocan entre sí. La finura se controla primordialmente por la velocidad del clasificador y la cantidad de aire del ventilador que se emite al clasificador; pero se pueden obtener otros efectos variando la presión de la boquilla, la distancia entre las bocas de la bóveda del conducto eyector del chorro y la posición del disco del clasificador. Estos pulverizadores se fabrican en 30 tamaños, operan con cantidades de aire comprimido que van de 0.6 a 13.0 m³/min (20 a 4500 pie³/min) aproximadamente. En la mayor parte de las aplicaciones, los aspectos económicos del empleo de esta clase de pulverizador de chorro son atractivos dentro de la gama del 98% a través de una malla 200 o más

fina; además, cuando se requieren productos más finos, esta clase de equipo ofrece mayores ventajas.

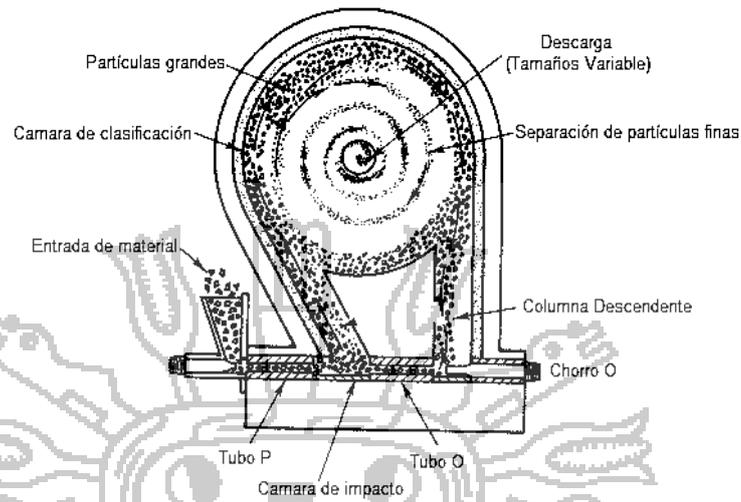


Fig. No. 17, Molino de chorro Trost. (Colt Industries.)

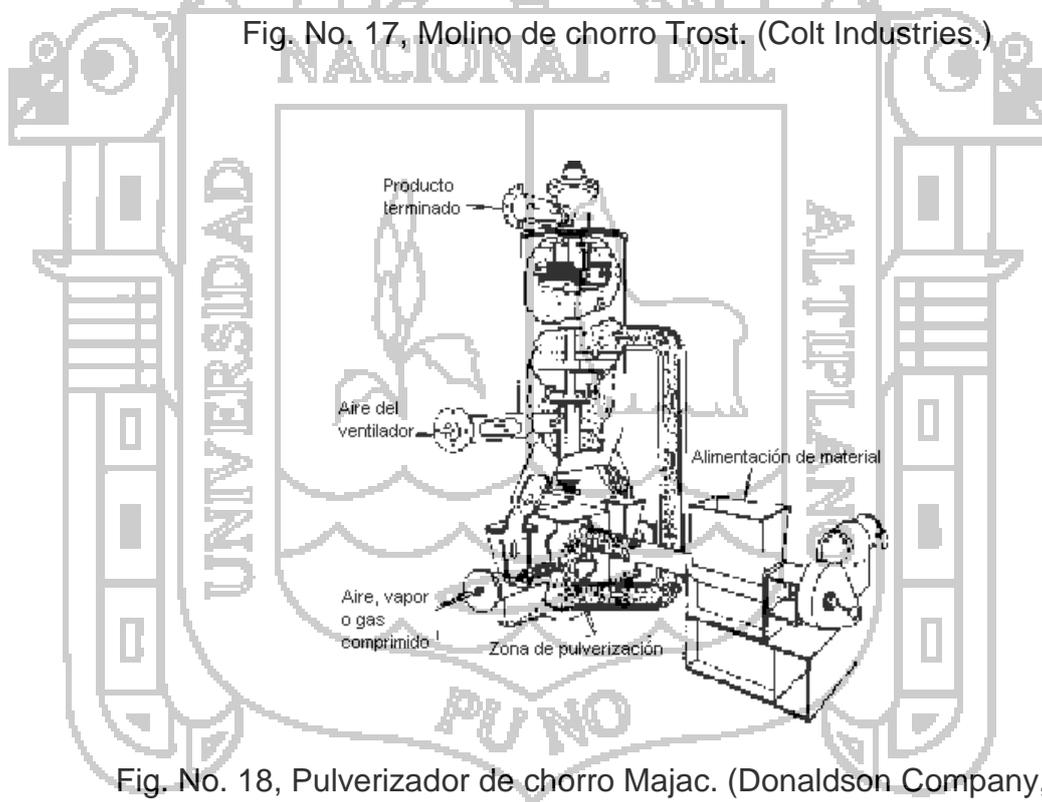


Fig. No. 18, Pulverizador de chorro Majac. (Donaldson Company, Inc.)

CAPITULO III DISEÑO DEL MOLINO DE BOLAS

3.1 Cálculo de capacidad.

Datos básicos:

Formulas	Datos basicos	Unidades	Resolucion	Unidades
Tamaño de la planta : ton de mineral/año	15000,00		$\frac{15000}{330} = 45,45$	tn/dia
Capacidad del molino: dias/año considerando 330 dias de trabajo	330,00			
Produccion extra	10%		4,55	tn
Toneladas por dia	45,45		50,00	tn/dia
Tonelada de mineral por año			$50,00 \times 330 = 16500,00$	tn/año
Tiempo de trabajo de molino pero el trabajo del molino es →	24,00 horas diarias 20,00 horas		$330 \times 20 = 6600,00$	hr/año
Produccion del molino			$\frac{16500}{6600} = 2,50$	tn/hora
Moliendabilidad de la roca tomada de otros molinos con consumo de energia similar	20,00	kwh/t		

3.2 Cálculo de potencia del motor.

Potencia del motor de molino $2,50 \times 20 = 50,00$ kw
 de donde: usando un factor de seguridad 1,3410
 Potencia del motor $50,0 \times 1,3410 = 67,050$ hp

Motor con las siguientes características en la Placa

Marca: ABB
 Modelo: M3000 hierro fundido
 codigo de producto:
 Potencia 60,00 hp = 50,00 kw
 Rpm 1150,00
 Torque 531,00 Nm
 Momento de Inercia: J 2,20
 Peso: W 650,00 Kg
 Factor de Potencia: 0,84
 Eficiencia al 100% 94,60
 Nivel de ruido 66 dB
 Alimentación: trifasico 440-480 v 60,00 Hz

3.3 Selección del reductor de velocidad.

Posteriormente utilizaremos un reductor de velocidad el cual alimentara a toda la transmisión con los siguientes datos de placa:

Potencia de entrada 75 hp

Velocidad de salida 152 RPM

Potencia de salida 70 hp

De la marca: R.A.I.S.A.

Modelo GS-254 con salida izquierda.

Ver anexo II.



3.4 Expresión de Dawn para dimensionamiento del molino.

DAWN: KW netos 0,284 DAWN

KW netos solamente requerida por el molino sin tomar perdidas en el motor y en la transmision donde :

D: diametro del molino adentro del emplacado en m.

A: es (1.073-J); 1,073

J: fraccion de carga del volumen del molino

w: Es el peso de la bola en toneladas

N: es la velocidad del molino en RPM

por lo que se tiene Kw netos = 0,284 D (1,073 - J) WN

para el dimensionamiento del molino todos los terminos deben ser expresados en terminos de "D"

3.5 Cálculo de velocidad del molino.

La velocidad del molino se calcula como un porcentaje de la velocidad critica Nc, la cual se define como la velocidad en la que la carga de bola empieza a centrifugar

Velocidad critica

$$N_c = \frac{42.2}{\sqrt{D}} \quad \text{factor} \quad 42,20$$

Velocidad del molino que varia entre 70% 80%

$$N = 75\% N_c = \frac{31.65}{\sqrt{D}} \quad \text{se toma :} \quad 75\% \quad \text{factor} \quad 31,65$$

Para molino de bolas se expresa la relacion L/D

L: longitud

D: diametro

usando la longitud efectiva del molino y el diametro dentro del emplacado para efecto de calculo,

por lo que tomaremos una relacion de : 2,35 : 1

3.6 Volumen de carga y peso de la bola.

El volumen de carga depende hasta cierto punto del tipo de molino.

El cálculo se basa en determinar el tamaño del molino y el volumen de carga necesario para usar la potencia requerida de modo de obtener la meta de producción.

Para encontrar el tamaño del molino se debe seleccionar un valor para el volumen de carga (J). Para este tipo de molino un valor del 28% es aceptable. Se ha encontrado en la práctica que con más de 30% se pierde eficiencia.



El peso de la bola se relaciona con el % de volumen de carga

Peso de la bola $W = (\text{Vol. Molino}) \times J \times (\text{densidad de la bola})$

Densidad convencional usada para la bola es: 4,48 tn/m³

CALCULOS

Peso de bolas $W = \frac{\pi}{4} D^2 \times 2,35 \times D \times 0,28 \times 4,48 = 2,32 D^3$ tonelada

Los Kw netos es la potencia al entrada del molino y se calcula a partir de la potencia

a la entrada del motor incluyendo perdidas en el motor y transmision, y se considera:

factor para convertir potencia alto (gross) neto es de 0,9 $\rightarrow 0,9 \times 75 \times 0,746 = 50,36$ kw
 factor en % 75
 factor 0,746
 Kw netos = 50,36

De Kw netos = 0,284 D (1,073 - J) WN

factor 0,284
 factor 1,073

Kw netos = 0,284 D (1,073 - 0,28) 2,315 D³ $\frac{31,65}{\sqrt{D}} = 16,5 D^{3,5}$

De : 50,36 = 16,5 D^{3,5} $\rightarrow D = 1,38$ metros

De donde

El diametro entre paredes es de 1,5 m. Dejando 65 mm, como espesor del emplacado en cada pared 1500 mm y ser: 1435 mm

Para obtener la longitud del molino de relacion L/D : 2,35

Longitud (L)	L	3,23 m
Diametro (D)	D	1,38 m

$N = \frac{31,65}{\sqrt{D}} = \frac{31,65}{\sqrt{1,38}} = 26,99$ rpm

Teniendo el valor de D Kw netos = 0,284 x 1,37 (1,073 - 0,28) 2,315 x 1,37³ $\frac{31,65}{\sqrt{1,37}} = 50,36$ Kw netos

que es la energia neta consumida por el molino

Por causas de perdida en el motor, cojinetes y reductor se sugiere 5% Kw
 por lo que queda 2,52 kw

De donde kw bruto sera 52,87 kw
 En HP sera : 70,85

3.7 Velocidad crítica de rotación.

Es aquella en que la fuerza centrífuga anula la influencia que la gravedad opera sobre las bolas que caen y, por lo tanto no prestan ningún servicio de molienda.

La velocidad crítica está dada por la formula

$$n = \frac{k}{\sqrt{D}}$$

D: Diametro libre del molino	1,38 m
El valor de k es :	76,6 cuando esta en pies
El valor de k es :	42,3 cuando esta en metros

por lo que se tiene :

$$n = \frac{42,3}{\sqrt{1.38}} = \mathbf{36,07 \text{ rpm}}$$

este es el valor de la velocidad de rotacion critica en rpm, en el cual las bolas no realizan ningun trabajo util

El movimiento de las bolas tiene una considerable influencia de molienda, si el molino gira muy rápido las bolas pueden elevarse muy alto, entonces cuando caen pueden no pegar en la carga del molino sino caer sobre las placas del blindaje libres, disipando así innecesariamente la energía, alternatively, el impacto puede ser excesivo, originando una sobre molienda con la consiguiente compactación y reaglomeración del material ya molido. Para mayores velocidades las bolas pueden centrifugarse y cesar por lo tanto a la molienda.

La velocidad optima de un molino esta entre 45% 80%
pero nuestro diseño tomara el : 48%

$$Vel. real optima = vel. critica \times 0,5$$

$$Vel. real optima = 36,07 \times 0,48 = \mathbf{17,31 \text{ rpm}}$$

La cual es equivalente a la velocidad de diseño del molino en rpm.

3.7.1 Cantidad y tipo de cuerpos moledores distribuidos en la cámara de molienda.

Se usaran bolas de acero en los siguientes diametro y cantidades sengun la compañía ALLIS MINERAL SY. Se obtiene las siguientes caracteristicas para las b

Tamaño de bola mm	cantidad requerida (tn)
90,00	0,980
80,00	1,830
60,00	1,887
50,00	1,300

cantidad total requerida 6,00 tn

3.8 Consideraciones de llenado.

Según L. Lewenson el llenado optimo de los molinos deben ser tal que $h = 0,16 D$

$$h = 0,16 D$$



Para nuestro caso: $D = 1,38 \text{ m}$
 por lo tanto : $h = 0,22 \text{ m}$

Grado de llenado de bolas en el molino

Es la relacion entre el volumen del apilamiento de las bolas y el volumen de trabajo o volumen libre del molir el grado de llenado para bolas de acero varia entre 28% 45%
 por debajo de 28% se deslizan sobre el blidanje de molino
 por encima de 48% se origina dificultad en la trayectoria de los cuerpos

Grado de llenado

$$\text{Grado de Llenado} = \frac{\text{VOLUMEN OCUPADO POR LA BOLA}}{\text{VOLUMEN LIBRE DEL MOLINO}}$$

volumen ocupado por la bola

$$\text{Vol. Ocupado por la Bola} = \frac{\text{CARGA TOTAL BOLA (Tn)}}{\text{DENSIDAD DE BOLA}}$$

Densidad bolas grandes = 4,3 tn/m²

Carga total = 6,00 tn

$$\text{Vol. Ocupado por la Bola} = \frac{\text{CARGA TOTAL BOLA (Tn)}}{\text{DENSIDAD DE BOLA}} = 1,40 \text{ m}^3$$

Volumen libre

$$\text{Vol.libre} = \frac{\pi}{4} \times D^2 L$$

Como sabemos :

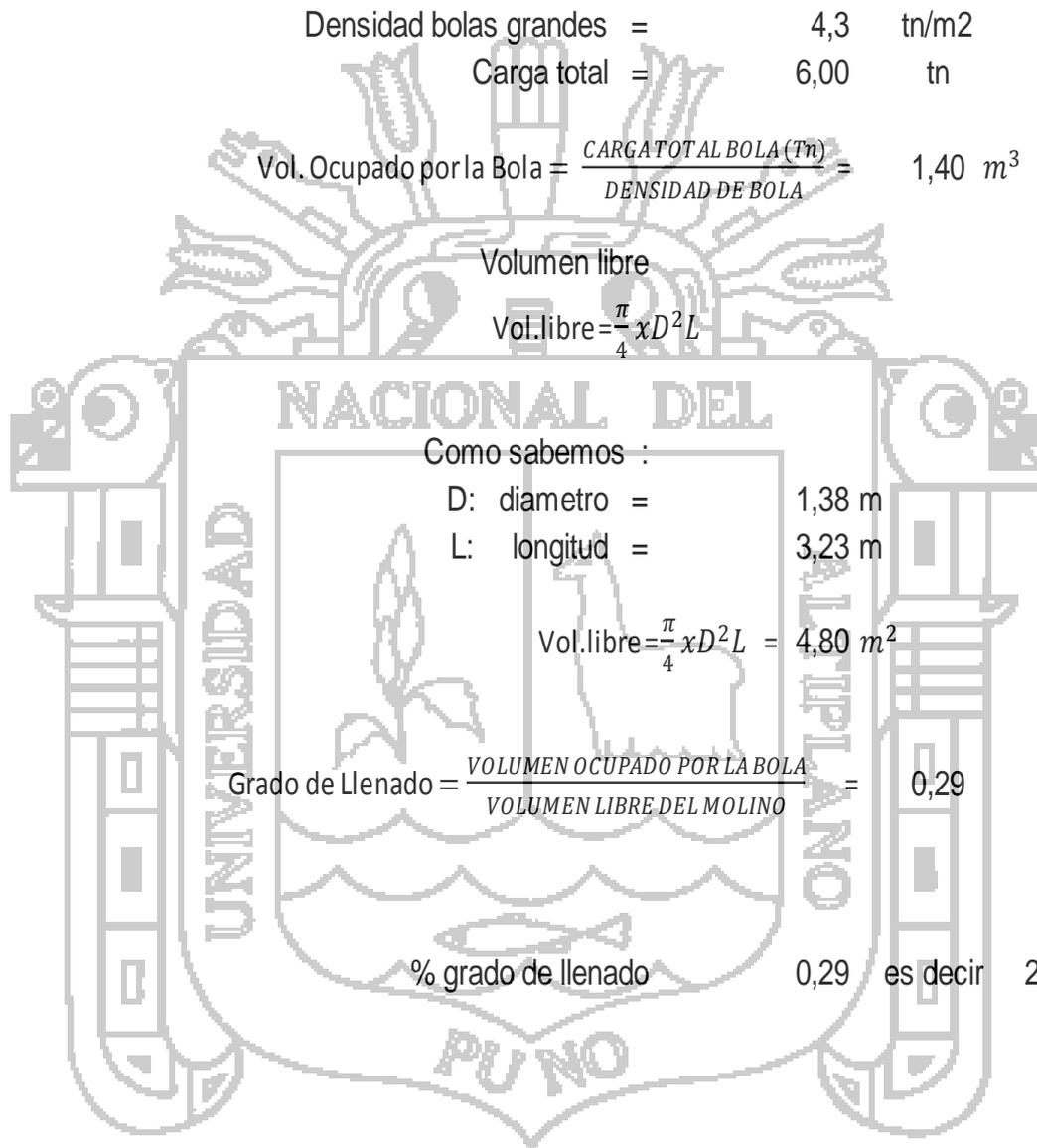
D: diametro = 1,38 m

L: longitud = 3,23 m

$$\text{Vol.libre} = \frac{\pi}{4} \times D^2 L = 4,80 \text{ m}^2$$

$$\text{Grado de Llenado} = \frac{\text{VOLUMEN OCUPADO POR LA BOLA}}{\text{VOLUMEN LIBRE DEL MOLINO}} = 0,29$$

% grado de llenado 0,29 es decir 29,06



CAPITULO IV

DISEÑO DE LA TRANSMISION DEL MOLINO DE BOLAS

4.1 Diseño de la Transmisión

Diseño de la transmisión del molino de bolas. En este capítulo se tratara sobre el cálculo de la transmisión, la cual forma la base del éxito del molino de bolas para desarrollar un óptimo y eficaz desempeño en la maquinaria.

4.1.1 Cálculo de engranes rectos.

Datos de la maquina

Velocidad del motor	1150,00	rpm
Potencia de salida	75,00	hp

Datos de reductor

Potencia de entrada	75,00	hp
Velocidad de salida (N motor)	152,00	rpm
Potencia de salida	70,00	hp
factor	8,66	

$$\text{Velocidad de salida (N maquina)} \quad 8,66 = \frac{152}{X} = X = 17,55 \text{ rpm} \quad 70,85 \text{ hp}$$

Proponiendo paso diametral igual a (1,50	
Proponiendo distancia entre centros	58,00	pulg

Calculo numerico de dientes totales

$$N = 2,00 \text{ CP}$$

$$N = 2,00 \times C \times P = 174 \text{ DIENTES}$$

Calculo numerico de dientes del piñon

$$n_p = \frac{N}{R_V + 1} = 18,01 \text{ dientes}$$

$$R_V = \frac{N_{motor}}{N_{maquina}} = 8,66$$

Calculo de numero de dientes del engrane

$$n_e = N - n_p = 155,99 \text{ dientes}$$

Definiendo la velocidad real

$$R_v = \frac{n_e}{n_p} = 8,66$$

Calculo de diametro de paso

$$DP_p = \frac{n_p}{p} = 12 \text{ plg}$$

$$DP_e = \frac{n_e}{p} = 104 \text{ plg}$$

Comprobando la distancia entre centros

$$c = \frac{D_{Pe} + D_{Pp}}{2} = 58 \text{ plg}$$

Factor de forma

factor de forma del piñon de (Ng)	18,0	dientes
Y =	0,308	
factor de forma del engrane de (Np)	156	dientes
Y =	0,459	

Definiendo materiales del piñon y engrane

Pieza	Material	So	BHN
piñon	ASTM35	12.000	212
engrane	ASTM50	15.000	223

Determinando el elemento mas debil

$$\text{Piñon} = S_o \times Y = 3696 \text{ psi}$$

$$\text{Engrane} = S_o \times Y = 6879 \text{ psi}$$

Calculo de la fuerza limite de desgaste Fw

$$Ses = 400 \times \text{BHN} - 10000 = 74800 \quad \text{psi}$$

$$k = \frac{Ses^2 \text{sen}20}{1,4} \times \left(\frac{1}{Eg} + \frac{1}{Ep} \right) = 94,26$$

$$\left(\frac{1}{Eg} + \frac{1}{Ep} \right) = 6,89655E-08$$

$$Q = \frac{2 Np}{Ng + Np} = 1,79$$

$$Fw = D P K Q = 12311,90$$

Se demuestra que $Fw > Fd$, por lo que el calculo es satisfactorio

4.1.2 Cálculo de la geometría de los engranes.

Para el Piñón: $d = 12$ pulg. Y $N = 18$ dientes

$$Pc = \frac{\pi d}{N} = \frac{\pi(12)}{18} = 2.094 \text{ N } 18$$

$$Pd = \frac{N}{d} = \frac{18}{12} = 1.5$$

$Pd > 20$ Paso fino según tabla #

Especificaciones de dientes AGMA de profundidad total.

Angulo de presión $\phi = 20^\circ$ o 25°

$$\text{Altura de la cabeza } a = \frac{1.000}{Pd} = \frac{1.000}{1.5} = 0.666$$

$$\text{Altura de la raíz } b = \frac{1.250}{Pd} = \frac{1.250}{1.5} = 0.833$$

$$\text{Profundidad de trabajo} = \frac{2.000}{Pd} = \frac{2.000}{1.5} = 1.333$$

$$\text{Profundidad total} = \frac{2.250}{Pd} = \frac{2.250}{1.5} = 1.5$$

$$\text{Espesor circular del diente} = \frac{1.571}{Pd} = \frac{1.571}{1.5} = 1.047$$

$$\text{Radio del filete – cremallera básica} = \frac{0.300}{Pd} = \frac{0.300}{1.5} = 0.2$$

$$\text{Holgura básica mínima} = \frac{0.250}{Pd} = \frac{0.250}{1.5} = 0.166$$

$$\text{Ancho mínimo en la cresta superior} = \frac{0.250}{Pd} = \frac{0.250}{1.5} = 0.166$$

$$\text{Holgura (dientes rasurados o rectificadas)} = \frac{0.350}{Pd} = \frac{0.350}{1.5} = 0.233$$

$$\text{Altura total del diente} = a + b = 0.666 + 0.833 = 1.49$$

$$c = b - a = 0.833 - 0.666 = 0.167$$

$$\text{Altura de trabajo} = a + b - c = 0.666 + 0.833 - 0.167 = 1.33''$$

$$\text{Diámetro exterior } D_{op} = d_p + 2a = 12 + 2(0.666) = 13.332''$$

$$d_p = \frac{N}{Pd} = \frac{18}{1.5} = 12$$

$$\text{Paso base } P_b = P_c \cos \phi = 2.094 (\cos 20^\circ) = 1.96''$$

$$\text{Para el Engrane: } d = 104 \text{ pulg. } \quad Y \quad N = 156 \text{ dientes}$$

Paso circular

$$P_c = \frac{\pi d}{N} = \frac{\pi (104)}{156} = 2.094$$

Paso diametral

$$Pd = \frac{N}{d} = \frac{156}{104} = 1.5$$

$Pd > 20$ Paso fino según tabla #

Especificaciones de dientes AGMA de profundidad total.

Angulo de presión $\phi = 20^\circ$ o 25°

$$\text{Altura de la cabeza } a = \frac{1.000}{Pd} = \frac{1.000}{1.5} = 0.666$$

$$\text{Altura de la raíz } b = \frac{1.250}{Pd} = \frac{1.250}{1.5} = 0.833$$

$$\text{Profundidad de trabajo} = \frac{2.000}{Pd} = \frac{2.000}{1.5} = 1.333$$

$$\text{Profundidad total} = \frac{2.250}{Pd} = \frac{2.250}{1.5} = 1.5$$

$$\text{Espesor circular del diente} = \frac{1.571}{Pd} = \frac{1.571}{1.5} = 1.047$$

$$\text{Radio del filete - cremallera básica} = \frac{0.300}{Pd} = \frac{0.300}{1.5} = 0.2$$

$$\text{Holgura básica mínima} = \frac{0.250}{Pd} = \frac{0.250}{1.5} = 0.166$$

$$\text{Ancho mínimo en la cresta superior} = \frac{0.250}{Pd} = \frac{0.250}{1.5} = 0.166$$

$$\text{Holgura (dientes rasurados o rectificadas)} = \frac{0.350}{Pd} = \frac{0.350}{1.5} = 0.233$$

$$\text{Altura total del diente} = a + b = 0.666 + 0.833 = 1.49$$

$$c = b - a = 0.833 - 0.666 = 0.167$$

$$\text{Altura de trabajo} = a + b - c = 0.666 + 0.833 - 0.167 = 1.33''$$

$$\text{Altura de trabajo} = a + b - c = 0.666 + 0.833 - 0.167 = 1.33''$$

$$\text{Diámetro exterior } D_{op} = d_p + 2a = 104 + 2(0.666) = 105.33''$$

$$d_p = \frac{N}{Pd} = \frac{156}{1.5} = 104$$

$$\text{Paso base } P_b = P_c \cos \varnothing = 2.094 (\cos 20^\circ) = 1.96''$$

Para el Piñón y Engrane: Radio de paso

$$r_p = \frac{d_p}{2} = \frac{104}{2} = 52$$

$$r_g = \frac{d_p}{2} = \frac{12}{2} = 6$$

Distancia nominal entre centros

$$c = r_p + r_g = 52 + 6 = 58''$$

Razón de contacto

$$Z = \sqrt{(r_p + a_p)^2 - (r_p \cos \phi)^2} + \sqrt{(r_g + a_p)^2 - (r_g \cos \phi)^2} - C \sin \phi$$

$$Z = \sqrt{(52 + 0.66)^2 - 52 (\cos 20^\circ)^2} + \sqrt{(6 + 0.666)^2 - 6 (\cos 20^\circ)^2} - 58 \sin 20^\circ$$

$$Z = 3.366''$$

$$m_p = \frac{Z}{P_b} = \frac{3.366}{1.5} = 2.244$$

4.2 Cálculo de la flecha.

Datos: Potencia = 70 hp N = 152 RPM y Piñón 20°

Utilizando un material ASTM A148-58: Su = 50 KSI y Sy = 80 KSI

Según las condiciones ASME: σ = 14400 PSI y δ = 10800 PSI

Momento de torsión:

$$M_t = \frac{63000N}{n} = \frac{63000(70)}{152} = 29013.15 \text{ lb.plg}$$

$$T_1 > T_2$$

$$\frac{T_1}{T_2} \cong 3 \quad T_1 = 3T_2$$

$$M_t = Fd \quad \text{y} \quad M_t = F_t \cdot r$$

$$F_t = \frac{M_t}{r} = \frac{29013.15}{6} = 4835.52 \text{ lb}$$

$$M_t = (T_1 - T_2)r$$

$$F_t = T_1 - T_2$$

$$4835.52 = T_1 - T_2$$

$$4835.52 = 3T_1 - T_2$$

$$T_2 = \frac{4835.52}{2} = 2417.76 \text{ lb}$$

$$T_1 = 3(2417.76) = 7253.28$$

$$F_{NT} = T_1 + T_2 + W$$

$$w = m \cdot g$$

$$V = \frac{\pi d^2}{4} b = \frac{\pi (0.304)^2}{4} 0.153 = 1.11 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$m = \rho_E \cdot V = 7800 \times 1.11 \times 10^{-2} = 86.58 \text{ kg}$$

$$w = 86.58 \times 9.81 = 849.34 \text{ N} = 190.94 \text{ lb}$$

$$F_{NT} = 7253.28 + 2417.76 + 190.94 = 9861.98 \text{ lb}$$

$$F_T = \sqrt{F_t^2 + F_{NT}^2} = \sqrt{(4835.52)^2 + (9861.98)^2} = 10983.66 \text{ lb}$$

Analizando como viga.

Plano Vertical

$$R_A = R_B = \frac{F_T}{2} = \frac{10983.66}{2} = 5492 \text{ lb}$$

$$M_f = 60412 \text{ lb}\cdot\text{plg}$$

4.2.1 Calculando por criterio de ASME

Suponiendo $K_f = K_t = 1.2$

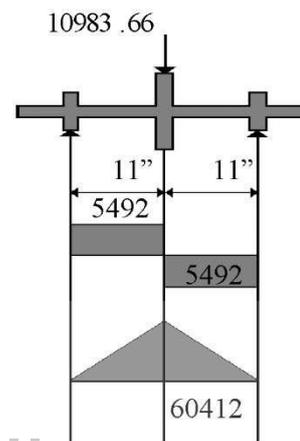
Utilizando un material ASTM A148-58: $S_y = 80 \text{ KSI}$ y $S_u = 50 \text{ KSI}$

Según las condiciones ASME: $\sigma = 14400 \text{ PSI}$ y $\delta = 10800 \text{ PSI}$

$$d = \left(\frac{16}{\pi \delta} \sqrt{(M_f K_f)^2 + (M_t K_t)^2} \right)^{1/3}$$

$$d = \left(\frac{16}{\pi (10800)} \sqrt{(60412 \times 1.2)^2 + (29013.15 \times 1.2)^2} \right)^{1/3}$$

$$d = 3.36'' = 4''$$



4.2.2 Análisis por Soderberg.

ASTM A148-58: $S_y = 80 \text{ KSI}$, $S_u = 50 \text{ KSI}$, $S_n = 35 \text{ KSI}$, $N = 3$

$C_s = 0.9$; $C_r = 0.75$; $C_m = 0.8$

$S_n' = 18900 \text{ PSI}$

$K_t = 1.6$ cuñero deslizable

$$d = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M_f}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{M_t}{S_n} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = \left[\frac{32 \times 3}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1.6 \times 60412}{18900} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{29013.15}{50 \times 10^3} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$d = 5.39" = 5.5"$$

$$\frac{D}{d} = 1.5 d$$

$$D = 1.5d = (1.5)(5.39) = 8.085"$$

$$\frac{r}{d} = 0.17 d$$

$$r = 0.17d = 0.17(5.39) = 0.9163"$$

4.2.3 Deformación angular.

$$\theta = \frac{M_t L}{GJ}$$

$$J = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi (8.085)^4}{32} = 419.48 \text{ in}^4$$

$$E = 200 \text{ GPa} = 29 \times 10^6 \text{ PSI}$$

$$G = \frac{E}{2} = \frac{29 \times 10^6}{2} = 14.5 \times 10^6$$

$$\theta = \frac{29013.15(22)}{14.5 \times 10^6 (419.48)} = (1.049 \times 10^{-4})$$

$$\theta = 1^\circ/\text{pie.}$$

4.2.4 Deformación lateral.

$$\Delta_{\max} = \frac{Pl^3}{48EI}$$

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi(8)^4}{64} = 201.06$$

$$\Delta_{\max} = \frac{(10983.66)(22)^3}{(48)(29 \times 10^6)(201.06)} = 4.17 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

4.3 Selección de los cojinetes de bolas para la flecha diseñada.

Datos

$$R_1 = 5492 \text{ lb} = 24429.63 \text{ N} \quad \text{y} \quad R_2 = 5492 \text{ lb}$$

$$d = 5 \frac{1}{2} \text{''}$$

$$n = 152 \text{ RPM}$$

30 000 horas reales de trabajo

$$B = (h) (60) (n) = (30\ 000) (60) (152) = 273600000 \text{ RPM} = 273.6 \text{ Mr}$$

$$Fr = (B)^{\frac{1}{K}} R$$

$$K = 3$$

$$Fr = (273.6)^{1/3} (24429.63) = 158594.79 \text{ N}$$

Dos cojinetes de bolas de una hilera radiales rígidas con:

Número de cojinete: 6328

Perforación = 140 mm = 5.51181 pulg

Velocidad limitante = 2000 rpm

Clasificación de carga dinámica = 44000 lb

Clasificación de carga estática = 50000 lb

4.4 Selección de acoplamientos.

Datos:

Diámetro del eje del motor = $d_p = 2.875" = 73.025 \text{ mm}$

Diámetro del eje del reductor = $d_m = 2.250" = 57.15 \text{ mm}$

Diámetro del eje = $d_e = 5.5" = 139.7 \text{ mm}$

Velocidad del motor = 1150 rpm

Potencia del motor = 75 HP = 55 KW

Velocidad del reductor = 152 rpm

Potencia del reductor = 70 HP = 51.3 KW

4.4.1 Determinación del par nominal y los factores de servicio F1, F2 y F3 entre el motor y reductor.

$$T_n = \left(\frac{P_n}{n} \right) \times 9549 \text{ Nm}$$

$$T_n = \left(\frac{55}{1150} \right) \times 9549 \text{ Nm}$$

$$T_n = 0.46 \text{ KNm}$$

Seleccionando los factores de servicio: $F_1 = 2.5$; $F_2 = 1.3$; $F_3 = 1.25$

Se calcula el par máximo

$$T_m = T_n \times F_1 \times F_2 \times F_3 = 0.46 (2.5 \times 1.3 \times 1.25) \text{ KNm}$$

$$T_m = 2.32 \text{ KNm}$$

Se selecciona un acoplamiento tipo PM 6

Lo cual cumple las condiciones:

$$T_{km} = 6 \text{ KNm} \quad T_m < T_{km}$$

$$2.32 < 6 \text{ KNm}$$

$n <$ Velocidad máxima del acoplamiento

$$1150 < 4480 \text{ rpm}$$

$$d_{\min} < d_p < d_{\max}$$

$$50 < 73.02 < 85$$

$$d_{\min} < d_m < d_{\max}$$

$$50 < 57.15 < 85$$

4.5 Determinación del par nominal y los factores de servicio F1, F2 y F3 entre el reductor y el eje motriz.

$$T_n = \left(\frac{P_n}{n} \right) \times 9549 \text{ Nm}$$

$$T_n = \left(\frac{51.3}{152} \right) \times 9549 \text{ Nm}$$

$$T_n = 3.22 \text{ KNm}$$

Seleccionando los factores de servicio:

$$F_1 = 2.5 \quad F_2 = 1.3 \quad F_3 = 1.25$$

Se calcula el par máximo

$$T_m = T_n \times F_1 \times F_2 \times F_3$$

$$T_m = 3.22 (2.5 + 1.3 + 1.25) \text{ KNm}$$

$$T_m = 16.26 \text{ KNm}$$

Se selecciona un acoplamiento tipo PM 27

Lo cual cumple las condiciones:

$$T_{km} = 27 \text{ KNm}$$

$$T_m < T_{km}$$

$$16.26 < 27 \text{ KNm.}$$

$n < \text{Velocidad máxima del acoplamiento}$

$152 < 2650 \text{ rpm}$

$d_{\min} < d_m < d_{\max}$

$92 < 57.15 < 143$

$d_{\min} < d_e < d_{\max}$

$92 < 139.7 < 143$



CAPITULO V

MANTENIMIENTO.

Las maquinas, equipos e instalaciones que permiten el funcionamiento de una empresa, requieren de un mantenimiento constante para no prestar averías inesperadas. Sin un mantenimiento optimo, los equipos tarde o temprano presentaran fallas, reduciendo sustancialmente su vida útil y afectando la productividad de la empresa.

Así como las instalaciones, maquinaria y equipos requieren de alguien que los opere, también se necesitan de alguien que los repare y mantenga operando. Cuando mas automatizada sea una instalación, menos personal de operación se requerirá. Sin embargo, el número de elementos susceptibles de fallar aumentara. Con un buen sistema de mantenimiento será más difícil que un equipo pare inesperadamente por fallas, y al mismo tiempo se contara con un sistema que permita optimizar los recursos de la empresa.

5.1 Concepto de Mantenimiento.

Conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, edificios, equipos y accesorios.

En estas definiciones, están contenidos términos que debemos analizar:

- Acciones: Las acciones más importantes de mantenimiento son: planificación, programación, ejecución, supervisión y control.
- Continuas: que duran o se hacen sin interrupciones.
- Permanentes: de duración firme y constante, perseverantes.
- Para poder garantizar la disponibilidad operacional de sistemas, edificios, instalaciones, equipos y accesorios, el mantenimiento debe ser ejecutado de manera continua y permanente a través de planes que contengan fines, metas y objetivos precisos y claramente definidos.
- Prever: significar ver con anticipación. Conocer, conjeturar lo que ha de suceder. Con una buena planificación y programas oportunos de inspecciones rutinarias, el ingeniero de mantenimiento está en capacidad de detectar los síntomas que nos indican, muchas veces con bastante anticipación, que los equipos están próximos a fallar y que, en consecuencia, debe abocarse a corregir las desviaciones antes que se conviertan en problemas de mayor trascendencia.
- Asegurar: establecer, fijar sólidamente, preservar de daños a las personas o cosas.
- Normal: lo que por su naturaleza, forma o magnitud, se ajusta a ciertas normas fijadas de antemano.

5.2 Clasificación del Mantenimiento.

El mantenimiento de equipos y/o instalaciones en una empresa puede efectuarse antes o después de que aparezca una falla en su funcionamiento. Un buen programa de mantenimiento debe funcionar de forma eficiente y efectiva para poder ser el fundamento de altos niveles de confiabilidad en la operación de

los sistemas. De acuerdo con lo anterior, el mantenimiento se clasifica en dos grandes grupos:

- Mantenimiento Correctivo (se corrigen fallas después de que estas se presentan).
- Mantenimiento Proactivo (se previenen las fallas efectuando el mantenimiento antes de que estas se presenten). Aquí se incluye el Mantenimiento Preventivo y el Mantenimiento Predictivo.

5.2.1 Mantenimiento Correctivo.

Comprende las actividades de todo tipo encaminadas a tratar de eliminar la necesidad de mantenimiento; corrigiendo las fallas de una manera integral a mediano plazo. Las acciones más comunes que se realizan son; modificación de elementos de máquinas, modificación de alternativas de proceso, cambios de especificaciones, ampliaciones, revisión de elementos básicos de mantenimiento y conservación, etc. Este tipo de actividades es ejecutado por el personal de la organización de mantenimiento y/o por entes foráneos, dependiendo de la magnitud, costos, especialización necesaria, etc., su intervención tiene que ser planificada y programada en el tiempo para que su ataque evite paradas injustificadas.

5.2.2 Mantenimiento Correctivo o a la Rotura.

Consiste en el reacondicionamiento o sustitución de partes en un equipo una vez que han fallado, es la reparación de la falla (falla funcional), ocurre de urgencia o emergencia.

5.2.3 Mantenimiento Proactivo.

El objetivo del mantenimiento proactivo consiste en evitar paros inesperados de los equipos como consecuencia de algunas fallas que, sin mantenimiento, seguramente se presentarían. Esto se realiza a través del monitoreo del deterioro del equipo o sus partes.

Para poder delimitar el trabajo realizado dentro del mantenimiento proactivo, este se divide en dos:

- **Mantenimiento Preventivo:** Es referido al mantenimiento basado en el uso (periodo de tiempo de uso). Algunos de los trabajos más frecuentes del mantenimiento preventivo son: lubricación, limpieza y reemplazo de partes. La principal desventaja de utilizar este tipo de mantenimiento es que en ocasiones se requiere interrumpir la operación de los equipos en intervalos establecidos para efectuar su mantenimiento.

- **Mantenimiento predictivo:** Este mantenimiento está basado en la condición y su función principal es medir una o varias condiciones físicas del equipo (temperatura, vibración, ruido, análisis de lubricantes y corrosión) a fin de predecir y evitar fallas desde su fase inicial

Para establecer un programa de mantenimiento es necesario conocer el proceso operativo o de producción, las características de los equipos, maquinaria e instalaciones, así como las condiciones a las cuales se someterán.

5.3 El mantenimiento propuesto es preventivo.

El mantenimiento preventivo es una inspección periódica para detectar condiciones que pudieran causar descomposturas, paros de producción o pérdida en detrimento de la función combinada con mantenimiento para

controlar, eliminar o evitar tales condiciones en sus primeras etapas. En otras palabras el mantenimiento preventivo es rápida detección y tratamiento de las anomalías del equipo antes de que causen defectos o pérdidas. Es medicina preventiva para el equipo.

El mantenimiento preventivo consiste en dos actividades básicas; inspección periódica y restauración planeada del deterioro basadas en los resultados de inspecciones. La rutina de mantenimiento diario se considera como mantenimiento preventivo.

Aquí se analiza las actividades planeadas de plazo intermedio y largo conducidas por el departamento de mantenimiento: seleccionando estándares de mantenimiento, preparando y ejecutando planes de mantenimiento, manteniendo los registros de mantenimiento, actividades de restauración. Cubre los subsistemas como control de partes, control de lubricación y control del presupuesto de mantenimiento.

Estandarización de las actividades de mantenimiento. Las actividades de mantenimiento deben ser estandarizadas por varias razones:

- Las actividades diversas de mantenimiento no pueden ser ejecutadas efectivamente si cada quién las lleva como a él le gusta.
- Las técnicas y destrezas de mantenimiento llevan largo tiempo para ser ejecutadas adecuadamente.
- El trabajo de mantenimiento es menos efectivo que el de producción pues es menos repetitivo.

La estandarización dirige estos problemas incorporando manuales. Tales documentos permiten que un gran número de trabajadores, incluyendo los nuevos, hagan el trabajo que previamente fue hecho por trabajadores con

experiencia. Esta capacidad de entrenar e involucrar muchos individuos en el trabajo de mantenimiento es clave para desarrollar un programa eficiente de mantenimiento. Los estándares se deben revisar al menos una vez al año.

5.3.1 Tipos de estándares.

- Estándares de desempeño del equipo o especificaciones del equipo. Indican como el equipo debe ser operado, incluye las principales dimensiones, capacidad y desempeño, precisión, funciones, mecanismos, los materiales con que están hechas sus partes principales, cantidad de energía eléctrica, vapor o agua necesaria para la operación, etc.
- Estándar para la obtención de materiales para el equipo. Cubre la calidad para materiales y partes, son basados en el diseño del equipo y en el estándar de desempeño.
- Estándar para la inspección de materiales del equipo. provee métodos de prueba e inspección para determinar los materiales y partes usadas en el equipo.
- Estándar de aceptación y corrida de prueba. Indica la aceptación y pruebas de operación a ser desempeñadas en el equipo que ha sido instalado, modificado o reparado.

5.3.2 Estándares de mantenimiento.

A. Estándares de mantenimiento del equipo. Indica métodos para medir el deterioro del equipo, detención de deterioro y restauración de equipo.

- Estándares de inspección. Son técnicas para medir o determinar el deterioro. Especifica el área y objetos a ser inspeccionado, los intervalos

de inspección, métodos, instrumentos de medición, criterio de evaluación, acción correctiva a tomar, etc. Incluye dibujos ilustrativos y fotografías.

- Estándares de servicio. Especifican como dar servicio de rutina hecho con herramientas de mano. Incluyen guías y métodos para diferentes tipos de servicio, tal como limpieza, lubricación, ajuste y partes de reemplazo.
- Estándares de reparación. Especifica condiciones y métodos para el trabajo de reparación. Los estándares de reparación usualmente incluyen métodos de reparación y horas de trabajo.

5.3.3 Procedimientos del trabajo de mantenimiento.

Son procedimientos y métodos de trabajo, tiempos para inspección, servicio, reparación y otros tipos de trabajo de mantenimiento.

5.3.3.1 Estándares del trabajo de mantenimiento.

Estos estándares son preparados para el trabajo que se desempeña frecuentemente. Son de mucha ayuda en medir la eficiencia de la cuadrilla de mantenimiento, estimar las horas de trabajo disponible y capacidad de reserva, entrenar nuevos trabajadores, programar trabajo, etc.

5.3.3.2 Planes de mantenimiento.

El mantenimiento periódico y rutinario debe ser bien planeado y ser razonable. Debe estar basado en las condiciones reales del equipo tomando en consideración las prioridades y recursos presentes y futuros y construirlo en pasos para asegurar que los recursos necesarios estén disponibles para cuando se necesite.

Los planes de mantenimiento son clasificados por período o por proyecto.

5.3.4 Plan de mantenimiento anual.

Se designa para asegurar la confiabilidad del equipo por largo plazo. Para preparar planes de mantenimiento anual:

- A. Determine que trabajo es requerido. Puede incluir;
 - Regulaciones estatutorias. Seguridad, control de la polución, etc.
 - Estándares de mantenimiento del equipo. Trabajo determinado para los requerimientos del control de precisión y los resultados de las medidas de deterioro.
 - Registros de descomposturas. Trabajo de mantenimiento requerido para prevenir la recurrencia de descomposturas.
 - Plan anual del año anterior. Trabajo pendiente debido a cambios en el programa.
 - Ordenes de trabajos recibidos del taller. Trabajo necesario basado en registros de anomalías.
- B. Seleccione el trabajo a ser hecho. Categorice el trabajo en orden de importancia, enfóquese en lo importante.
- C. Tentativamente calcule los intervalos de mantenimiento. Haga pruebas de estimación del alcance de vida del equipo, componente por componente, parte por parte y decida los intervalos de mantenimiento, preferentemente usando los intervalos de descomposturas.
- D. Estime la lista de trabajo y los costos y tiempos de mantenimiento. Use los planes de producción anual y las metas de desempeño del equipo para estimar el número de días caídos y el tiempo requerido para el trabajo de mantenimiento y confírmelo contra el presupuesto.

E. Cheque la obtención y colocación del trabajo. Confirme el arreglo para materiales y las piezas de repuesto difíciles de conseguir, y para el trabajo hecho por contratistas y manufactureros de fuera. Determine si el personal calificado es requerido.

5.3.5 Planes de mantenimiento mensual.

Son planes de acción para hacer el trabajo requerido por el plan de mantenimiento anual.

A. Priorice el trabajo. Para mejores resultados ponga el trabajo en el siguiente orden de prioridad.

- Trabajo mensual indicado por el plan anual de mantenimiento.
- Trabajo indicado por un análisis de registros de descomposturas e inspección.
- Trabajo indicado por la inspección diaria y mejoras requeridas por el departamento de producción.
- Cambios en los planes de distribución e instalación de plantillas y herramientas.
- Planes para mejorar la calidad y seguridad del producto.
- Otro trabajo deberá incluirse en el plan como; órdenes de trabajo de varios departamentos, rescate de piezas reusables, preparaciones para el trabajo de mantenimiento y limpieza.

B. Estime la mano de obra y costos. Una vez que los detalles del trabajo han sido determinados, estime las horas–hombre y costos.

C. Balance las cargas de trabajo y prepare listas de trabajo. Para nivelar la carga de trabajo en el mes, divida el trabajo en semanas, empezando con el trabajo que ha de ser hecho en días designados o durante paros.

5.3.6 Planes para proyectos mayores de mantenimiento.

Son trabajos grandes como reparaciones periódicas o trabajo de cambio, que requiere apagar el equipo por un determinado período. Son costosos y consumen mucho tiempo, así que el objetivo más importante es reducir su duración. El plan es necesario para materiales, fuerza de trabajo, movilización y subcontratos.

El trabajo consiste en una serie de trabajos pequeños, los procedimientos detallados deben ser preparados para cada trabajo, Para facilitar el control del progreso use PERT o CPM.

5.4 Control de lubricación.

El control de la lubricación incrementa la eficacia del costo del equipo levantando la productividad y reduciendo los costos de mantenimiento. El control es generalmente dividido en control de los materiales lubricantes y control de las técnicas usadas.

Los lubricantes que se usan en la mayoría de los equipos pueden ser categorizados dependiendo de su uso en:

- Aceites lubricantes. Estos pueden ser aceites lubricantes en general (mineral, vegetal, animal) y aceites de corte (para reducir la fricción entre herramientas y equipo maquinado).
- Grasas. Son aceites lubricantes mezclados con jabón o agentes inorgánicos haciéndolos semisólidos o semilíquidos.
- Lubricantes sólidos. La mayoría son usados en conjunción con grasas, ejemplo, grafito, disulfuro de molibdeno.

Métodos de lubricación. Estos pueden ser clasificados en desechables o de pérdida total, y auto contenido.

5.4.1 Métodos de pérdida total.

- Lubricación manual. El aceite se agrega a intervalos cortos, es para equipo con poco movimiento.
- Alimentador con mirilla. El aceite es alimentado de un recipiente transparente por una válvula.
- Sifón tipo mecha. Se usa para baja viscosidad y el suministro varía con el nivel de aceite.
- Lubricante forzado mecánicamente. El suministro es controlado por la acción de un émbolo con un tornillo de ajuste.
- Felpa. provee lubricante de la reserva suavemente y actúa como filtro.
- Atomizador. Inyecta gota a gota en una corriente de aire presurizada atomizándola. Mechero con alimentación desde el fondo. Protege el equipo del polvo, filtrando el aceite.
- Anillo. El aceite es usado por largos períodos de tiempo, algunas veces se usa cadena en lugar de anillo.
- Baño. se usa por largos períodos en engranes y mecanismos de transmisión.
- Circulante por presión. Suministra aceite a muchos puntos en equipos grandes.

Puntos clave para la inspección diaria.

- Control del nivel del lubricante. Seleccione el nivel apropiado que pueda ser mantenido.
- Cheque la temperatura del lubricante. Con el aumento de la temperatura se reduce la fricción y aumenta el deterioro. asegure que la temperatura no llegue más allá de lo especificado.

- Controle el rango de lubricación. Aplicar la cantidad correcta, mucho significa problema, menos es insuficiente.

5.5 Mantenimiento predictivo y técnicas de diagnóstico.

Los métodos constituyen un nuevo tipo de mantenimiento preventivo que usa medición moderna y técnica de señal de proceso para diagnosticar la condición del equipo durante operación y determinar cuándo se requiere mantenimiento. Para permanecer competitivas las compañías deben cambiar del mantenimiento periódico al predictivo, en el equipo que es caro en reparación o que causa serias pérdidas si se descompone.

5.5.1 Técnicas de diagnóstico.

Los intervalos para el mantenimiento periódico convencional y reexaminación son usualmente decididos determinando el máximo tiempo de operación de las estadísticas de descomposturas y de la inspección visual y ha sido sujeto de largos errores experimentales. La reexaminación y los intervalos de mantenimiento deben ser derivados científicamente, basados en una exacta comprensión de las condiciones de la máquina. La tecnología de diagnóstico mide la tensión en el equipo y sus mal funciones, deterioro, fuerza, desempeño, y otras propiedades sin desmantelarlo. Es una tecnología para monitorear cambios continuos. Los tipos de descomposturas a las cuales el mantenimiento predictivo es aplicable, está limitado a esos equipos a los cuales los cambios, en los parámetros seleccionados previamente son usados para proyectar descomposturas. No es apropiado cuando no hay medio de detectar mal funciones por adelantado, tampoco es apropiado cuando los costos del

monitoreo sean más altos que los costos de reparación o que las pérdidas de producción.

5.5.2 El mantenimiento predictivo y sus fines:

- Reducir descomposturas y accidentes causados por el equipo.
- Incrementar los tiempos de producción y operación.
- Reducir los costos y tiempos de mantenimiento.
- Incrementar la calidad de los servicios y productos.

5.5.3 Técnicas aplicadas para el diagnóstico de la máquina:

- Métodos térmicos. Incluyen el uso de pintura térmica para dar al equipo una termografía visible de los calentamientos.
- Monitoreo del lubricante. Monitorea color, oxidación, y partículas de metal contenidos en un análisis espectro químico.
- Detección de fugas. Fugas de vasos de presión se detectan con ultrasonido o gases halógenos.
- Detección de fisuras. Son detectados usando un flujo magnético, resistencia eléctrica, ondas ultrasónicas o radiación.
- Monitoreo de vibración. Choque y pulso son usados en maquinaria con partes móviles.
- Monitoreo del ruido. Varios tipos de detectores monitorean a través del ruido que genera.
- Monitoreo de la corrosión. Las emisiones acústicas y otros métodos son usados para monitorear la condición de los metales.

Los más usuales son el monitoreo térmico, monitoreo del lubricante y vibración, son extremadamente importantes, son una forma rápida en la detección de malfuncionamientos.

5.6 Planeación del mantenimiento anual para el molino de bolas.

A. Se determina el trabajo requerido mediante técnicas aplicadas para el diagnóstico de la máquina, las cuales son de forma rápida y en ocasiones pueden realizarse algunas de ellas sin necesidad de detener el funcionamiento de la misma:

- Monitoreo del lubricante. El cual debe de ser el adecuado en rodamientos de la transmisión y del molino, lubricación adecuada en flecha y reductor de velocidad.
- Detección de fugas.
- Detección de fisuras. Detectados usando un flujo magnético, resistencia eléctrica, ondas ultrasónicas o radiación. Entre las placas del molino y sus elementos de transmisión.
- Monitoreo de vibración. Determinar si existe una vibración excesiva y los motivos de la misma, así como detectar si es causada por factores externos.
- Monitoreo del ruido. Ruido excesivo en la transmisión debido a un alineamiento erróneo entre los elementos móviles del molino.
- Monitoreo de la corrosión. Mediante una inspección superficial de las placas que componen la carcasa del molino se determina la existencia de corrosión, así como la falta de pintura y abolladuras.

B. Una vez determinadas dichas fallas y su origen se debe de elaborar una lista de estas y de los elementos o materiales que se deben de sustituir para así posteriormente solicitar el material requerido para su compostura sustitución.

- C. Se debe de elaborar una bitácora de las tareas a realizar y el tiempo requerido en un orden congruente y de manera que no afecte ni retrase el tiempo estimado de reparación.
- D. Se inicia la reparación, haciendo el paro del molino y supervisando el trabajo realizado en el tiempo estimado, para evitar pérdidas en la producción.

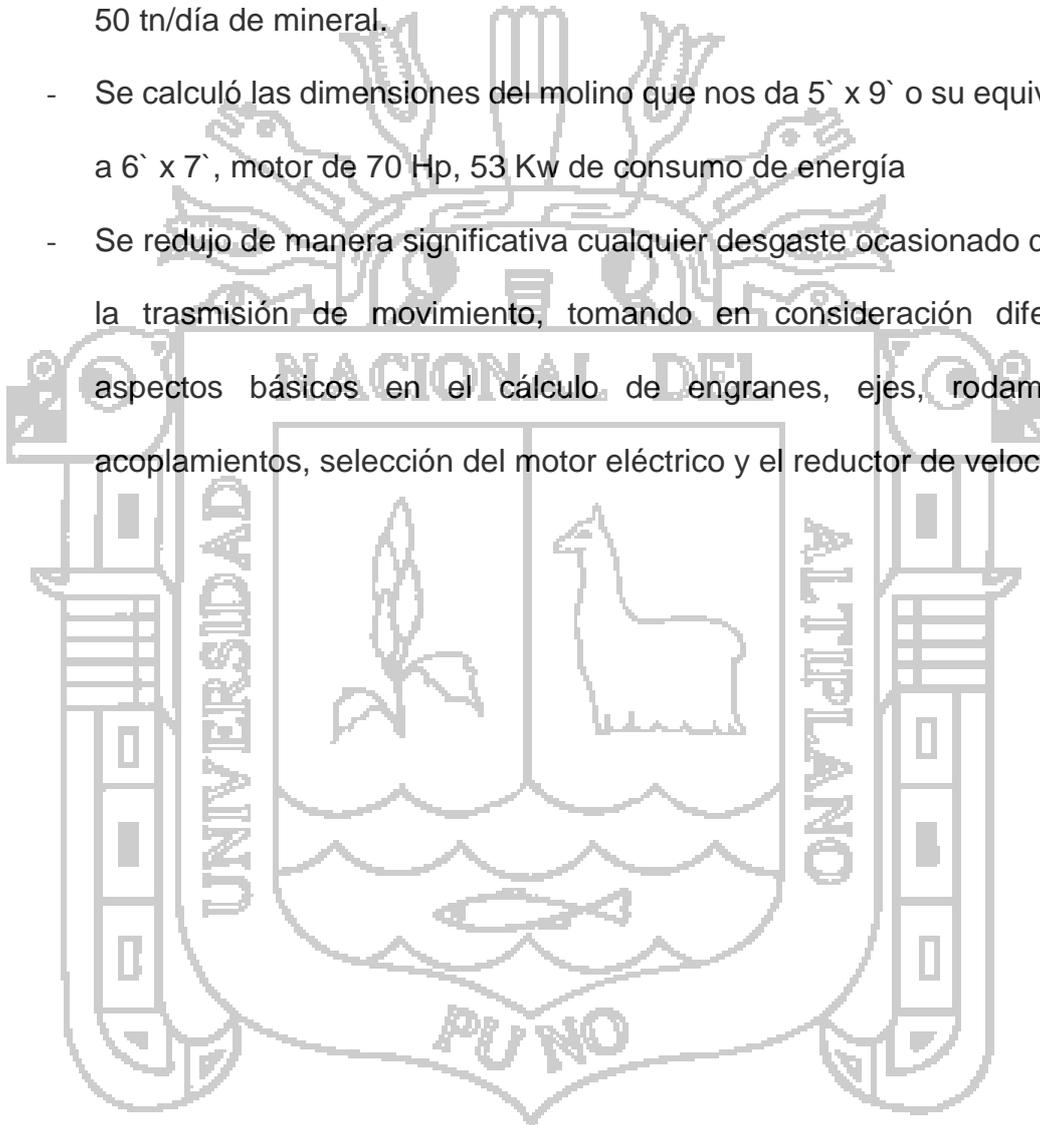


RECOMENDACIONES

- Se recomienda contar con personal calificado para que opere los equipos, así no afectar la productividad de la empresa.
- Para el diseño de molino de bolas es necesario hacer los cálculos de transmisión cada semana.
- Se recomienda hacer mantenimiento constantemente al equipo, porque los costos de mantenimiento son menores que la producción.
- Tener en almacén el Stock de materiales del molino de bolas como por ejemplo fajas, bolas, lubricantes y otros.
- Se recomienda al Ingeniero Metalurgista que coordine con el personal operario, oficial y peón, a si optar con un buen resultado de la moliendabilidad de la pulpa y recuperar la mena.

CONCLUSIONES

- Para desarrollar el diseño del molino de bolas se estudiaron los diferentes equipos que existen en la industria para la molienda de minerales encontrando al molino de bolas como la mejor opción para tratar 3 tn/hr o 50 tn/día de mineral.
- Se calculó las dimensiones del molino que nos da 5` x 9` o su equivalente a 6` x 7`, motor de 70 Hp, 53 Kw de consumo de energía
- Se redujo de manera significativa cualquier desgaste ocasionado durante la transmisión de movimiento, tomando en consideración diferentes aspectos básicos en el cálculo de engranes, ejes, rodamientos, acoplamientos, selección del motor eléctrico y el reductor de velocidad.



BIBLIOGRAFIA

- 1- Avallone, Eugene A., Baumeister III, Theodore, (1997). *Manual del ingeniero mecánico*. Tomo I. novena edición. Colombia. Mc Graw hill.
- 2- Catálogo de motores eléctricos SIEMENS, <http://www.siemens.com.mx>, (2007).
- 3- Catálogo de acoplamientos, (2008).<http://www.renold.com>
- 4- Catálogo de reductores de velocidad RAISA, (2007).<http://www.raisa-slp.com.mx>
- 5- Juárez, Alejandro, (2005). Tesis: Propuesta para eficientar la utilización del equipo en la fabricación portland blanco. México. Instituto Politécnico Nacional.
- 6- Máquinas y equipos para la minería, (2007).<http://www.tecmaqsrl.com>
- 7- Norton, Robert L., (1999). *Diseño de máquinas*. Primera edición. México. Prentice hall.
- 8- Perry, Robert H., Green, Don W., Maloney, James O., (1992). *Manual del ingeniero químico*. Tomo II. Sexta edición. México.
- 9- Plantas trituradoras, <http://www.fam.de/espanol/index.html>, (2008).
- 10- Riley, William F., Sturges, Leroy D., Morris, Don H., (1997). *Mecánica de materiales*. México. Limusa, Wiley.
- 11- Smith, Edward H., (1998). *Manual del ingeniero mecánico*. Tomo I, II y III. Primera edición. México. Prentice Hall.
- 12- Trituradores, (2008).<http://www.itescam.edu.mx>





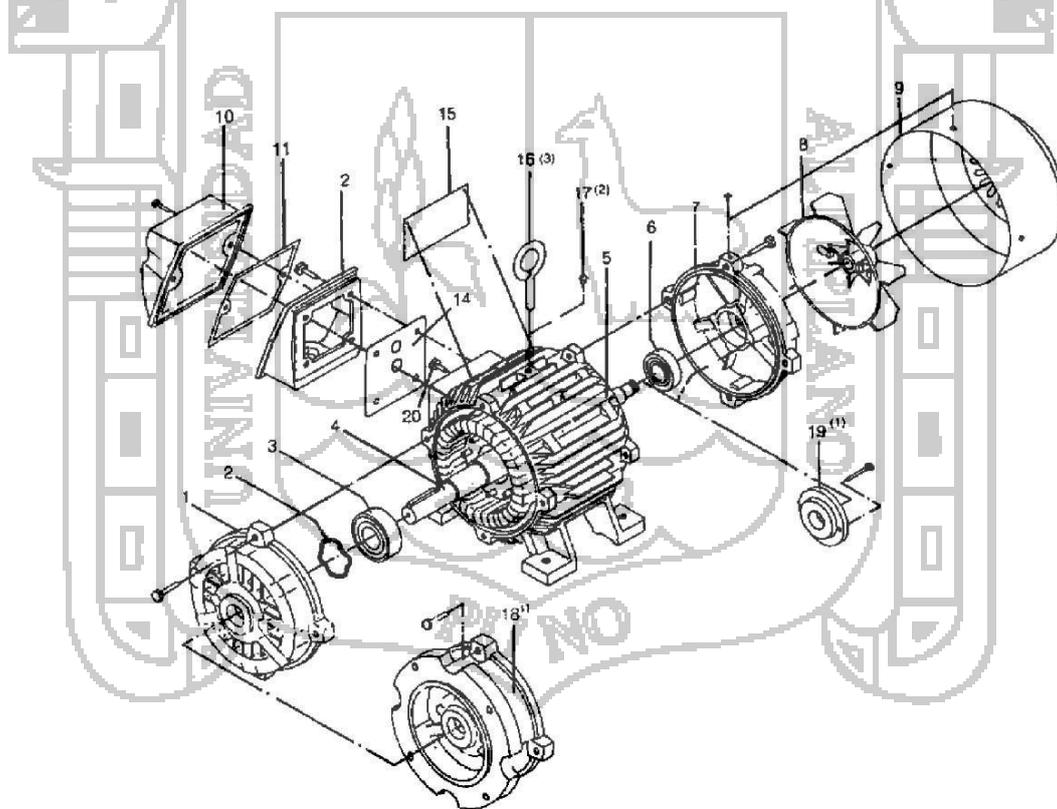
ANEXO I

Motores trifásicos jaula de ardilla, alta eficiencia, totalmente cerrados		
	Totalmente cerrados con ventilación exterior Montaje: Horizontal (F1) Aislamiento Clase F Dise.o Nema B según Norma MG-1 33oC temp. ambiente a una altitud de 2300msnm 40oC temp. ambiente a una altitud de 1000 msnm Motores a prueba de explosión para atmósferas de División I, Clase 1, Grupo D- Clase 2, Grupos F&G	Para otra clasificación, favor de consultarnos. Factor de Servicio: 1.0 Motores RGZZESD 1.15 Motores RGZE y RGZESD 1.25 Motores RGZE y RGZESD Armazones 143T a 256T en 2 y 4 Polos

Descripción				Modelo		
Potencia en HP	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Servicio pesado No. de parte	RGZZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
50	3600	220/440	326TS	1LA03262FE72	1LA03262SE72*	*
	1800	220/440	326T	1LA03264FE71	1LA03264SE71*	*
		220/440	365T	1LA03656FE71	1LA03656SE71*	*
60	1150	220/440	404T	*	1LA04048SE71*	*
		220/440	364TS	1LA03642FE72	1LA03642SE72*	*
	900	220/440	364T	1LA03644FE71	1LA03644SE71*	*
75	3600	220/440	404T	1LA04046FE71	1LA04046SE71*	*
	1800	220/440	405T	*	1LA04058SE71*	*
		220/440	365TS	1LA03652FE72	1LA03652SE72*	*
	1150	220/440	365T	1LA03654FE71	1LA03654SE71*	*
	900	220/440	405T	1LA04056FE71	1LA04056SE71*	*
100	3600	440	444T	*	1LA04448SE81*	*
		220/440	405TS	1LA04052FE72	1LA04052SE72*	*
	1800	220/440	405T	1LA04054FE71	1LA04054SE71*	*
		220/440	444T	*	1LA04446SE81*	*
		460	445T	*	1LA04458SE81*	*
125	3600	460	444TS	1LA04442FE82	1LA04442SE82*	*
		460	444T	1LA04444FE81	1LA04444SE81*	*
	1800	460	445T	*	1LA04456SE81*	*
150	3600	460	447T	*	1LA04478SE81*	*
		460	445TS	*	1LA04452SE82*	*
	1150	460	445T	1LA04454FE81	1LA04454SE81*	*
900	3600	460	447T	*	1LA04476SE81*	*
		460	447T	*	1LA04478HE81*	*

Lista de partes para motores trifásicos cerrados de alta eficiencia.

- 1) Escudo soporte de rodamiento, lado accionamiento ("A").
- 2) Arandela de presión.
- 3) Rodamiento de bolas lado ("A")
- 4) Eje con paquete rotor y cu.a espiga
- 5) Carcasa con paquete estator bobinado.
- 6) Rodamiento de bolas lado "B"
- 7) Escudo soporte de rodamiento, lado ventilador ("B").
- 8) Ventilador de plástico.
- 9) Capuchón de lámina.
- 10) Tapa caja de conexiones.
- 11) Empaque tapa-base caja de conexiones.
- 12) Base caja de conexiones.
- 13) Empaque base caja de conex-carcasa.
- 14) Placa de características.
- 15) Cancamo.
- 16) Tapón para rosca cáncamo.
- 17) Escudo soporte de rodamiento, con brida "C" o "D".
- 18) Tapa balero interior lado ventilador ("B").
- 19) Tornillo de tierra.



Despiece de un motor trifásico cerrado de alta eficiencia

Dimensiones de motores horizontales en pulgadas.

NEMA	S	ES	C	D	E	2F	BA	N-W	O	P	H	AB
143T	.188	1.38	12.2	3.50	2.75	4	2.25	2.25	6.93	7.7	.13	6.46
145T	.188	1.38	13.3	3.50	2.75	5	2.25	2.25	6.93	4.7	.13	6.46
182T	.250	1.75	14.2	4.50	3.75	4.50	2.75	2.75	8.86	9.7	.13	7.36
184T	.250	1.75	15.2	4.50	3.75	5.50	2.75	2.75	8.86	9.7	.13	7.36
213T	.313	2.38	18.0	5.25	4.25	5.50	3.50	3.38	10.62	11.2	.13	9.02
215T	.313	2.38	19.1	5.25	4.25	7	3.50	3.38	10.62	11.2	.13	9.02
254T	.375	2.88	22.3	6.25	5	8.25	4.25	4	12.62	13.4	.13	9.92
256T	.375	2.88	24.1	6.25	5	10	4.25	4	12.62	13.4	.13	9.92
284T	.500	3.25	28.8	7	5.50	9.50	4.75	4.63	14.19	15.5	.13	12.94
286T	.500	3.25	28.8	7	5.50	11	4.75	4.63	14.19	15.5	.13	12.94
284TS	.375	1.88	27.5	7	5.50	9.50	4.75	3.25	14.19	15.5	.13	12.94
286TS	.375	1.88	27.5	7	5.50	11	4.75	3.25	14.19	15.5	.13	12.94
324T	.500	3.88	32.0	8	6.25	10.50	5.25	5.25	15.94	17.1	.13	15.75
326T	.500	3.88	32.0	8	6.25	12	5.25	5.25	15.94	17.1	.13	15.75
324TS	.500	2	30.0	8	6.25	10.50	5.25	3.75	15.94	17.1	.13	15.75
326TS	.500	2	30.0	8	6.25	12	5.25	3.75	15.94	17.1	.13	15.75
364T	.625	4.25	34.2	9	7	11.25	5.88	5.88	17.81	18.5	.38	17.69
365T	.625	4.25	34.2	9	7	12.25	5.88	5.88	17.81	18.5	.38	17.69
364TS	.500	2	32.1	9	7	11.25	5.88	3.75	17.81	18.5	.38	17.69
365TS	.500	2	32.1	9	7	12.25	5.88	3.75	17.81	18.5	.38	17.69
404T	.750	5.63	39.5	10	8	12.25	6.625	7.25	19.90	19.6	.13	17.50
405T	.750	5.63	39.5	10	8	13.75	6.625	7.25	19.90	19.6	.13	17.50
404TS	.500	2.75	36.5	10	8	12.25	6.625	4.25	19.90	19.6	.13	17.50



Dimensionamiento de un motor trifásico cerrado de alta eficiencia

ANEXO II

GS-254 GSA-254 y GSV-254

Reducción nominal	Descripción de la capacidad	Velocidad de entrada		
		1750	1150	870
5	Pot. Entrada HP	108	91.2	79.5
	Pot. Salida HP	103	86.9	76
	Par Salida Kg-cm	21926	26888	28965
	Vel. Salida RPM	350	230	174
7.5	Pot. Entrada HP	89.1	75	65
	Pot. Salida HP	85.5	70	62
	Par Salida Kg-cm	25965	32658	37389
	Vel. Salida RPM	233	152	116
0	Pot. Entrada HP	75	62.6	54.6
	Pot. Salida HP	70	59.2	51.7
	Par Salida Kg-cm	28734	36351	42000
	Vel. Salida RPM	175	115	87
15	Pot. Entrada HP	56.4	46.7	40.9
	Pot. Salida HP	52.3	43.2	37.8
	Par Salida Kg-cm	31965	40043	46257
	Vel. Salida RPM	117	77	58
20	Pot. Entrada HP	43.5	36.1	31.7
	Pot. Salida HP	39.4	32.4	28.3
	Par Salida Kg-cm	33696	42121	48583
	Vel. Salida RPM	88	58	44
25	Pot. Entrada HP	36.9	30	26.9
	Pot. Salida HP	32.9	26.6	23.6
	Par Salida Kg-cm	33581	41197	48583
	Vel. Salida RPM	70	46	35
30	Pot. Entrada HP	31.7	26.2	23.2
	Pot. Salida HP	28.1	22.9	20.2
	Par Salida Kg-cm	34504	42698	49852
	Vel. Salida RPM	58	38	29
40	Pot. Entrada HP	23.7	19.8	17.6
	Pot. Salida HP	20.1	16.5	14.4
	Par Salida Kg-cm	33466	41774	48468
	Vel. Salida RPM	44	29	22
50	Pot. Entrada HP	19	15.8	14.1
	Pot. Salida HP	15.5	12.7	11.2
	Par Salida Kg-cm	32312	40159	46621
	Vel. Salida RPM	35	23	17

MODELO	PESO	CAP	MAT
127	89	2	Fundición Fo.Fo.
152	114	3	Fundición Fo.Fo.
178	162	5.5	Fundición Fo.Fo.
203	238	6	Fundición Fo.Fo.
228	325	8	Estructurado (Fierro)
254	415	10	Estructurado (Fierro)
305	650	12	Estructurado (Fierro)

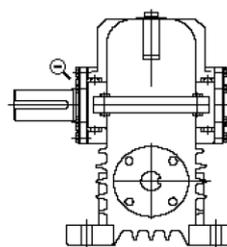
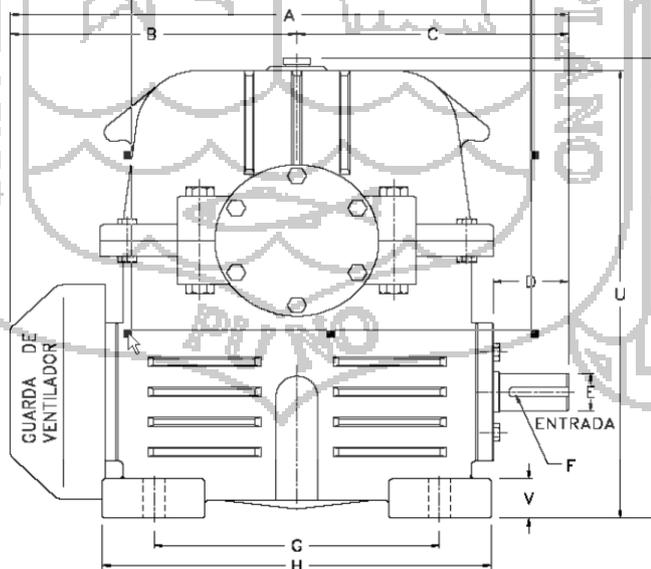


fig. No. 33, vista lateral del reductor de velocidad

MODELO	A	B	C	D	E (z)	F (Cuñero)	G	H	U	W	V
127	18 15/32 469.11	9 11/16 246.06	8 25/32 223.04	2 19/32 65.88	1.375 34.93	5/16x5/32x2-1/4	9 1/2 241.30	12 304.80	15 1/2 393.70	16 7/16 417.51	1 1/2 38.10
152	20 7/16 519.11	10 1/2 266.70	9 15/16 252.41	2 3/4 69.85	1.500 38.10	3/8x3/16x2-3/16	10 7/16 265.11	14 1/4 361.95	17 3/4 450.85	18 5/8 473.08	1 9/16 39.69
178	22 5/8 574.68	11 1/8 282.58	11 1/2 292.10	3 1/4 82.55	1.625 41.28	3/8x3/16x3	12 304.80	15 1/2 393.70	19 5/8 498.48	21 3/16 538.16	1 1/4 31.75
203	25 1/8 638.18	12 1/2 317.50	12 5/8 320.68	3 9/16 90.49	1.875 47.63	1/2x1/4x3-1/8	13 1/2 342.90	17 1/2 444.50	22 558.80	23 5/8 600.08	1 3/4 44.45
228	28 9/16 725.49	14 5/16 363.54	14 1/4 361.95	4 1/4 107.95	2.125 53.98	1/2x1/4x3-7/8	15 1/2 393.70	19 1/2 495.30	24 1/2 622.30	25 635.00	1 7/8 47.63
254	30 7/16 773.11	14 379.41	15 1/2 393.70	4 3/8 111.13	2.250 57.15	1/2x1/4x3-5/8	17 1/2 444.50	21 3/4 552.45	27 3/8 695.33	28 3/4 730.25	2 50.80
305	34 3/4 882.65	16 3/4 425.45	18 457.20	5 1/2 139.70	2.500 63.50	5/8x5/16x4-1/2	21 533.40	25 1/4 641.35	31 1/2 800.10	32 812.80	2 1/4 57.15

Nota: Las dimensiones están dadas en pulgadas (superior) y milímetros (inferior), la capacidad se entiende en litros y el peso en kilogramos.

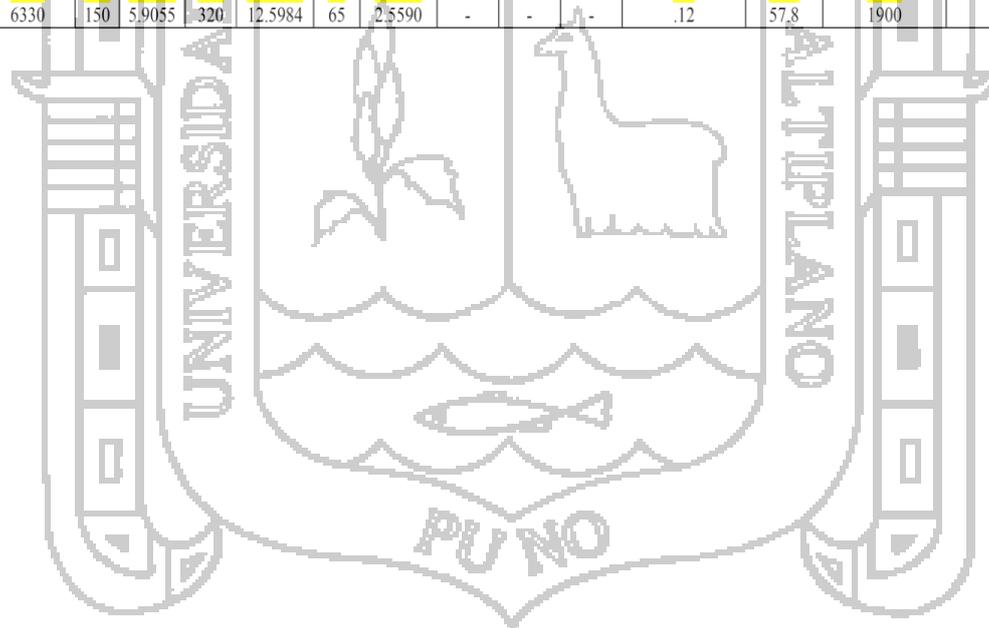


Dimensionamiento del reductor de velocidad



ANEXO III

NUMERO DE COJINET E	DIMENSIONES LÍMITE						DIMENSIONES DE CHAVETA CIRCULAR			RADIO DE FILETE MÁXIMO Flecha y carcaza	PESO APROX .	VELOCIDAD LIMITANTE	CLASIFICACION DE CARGA DINAMICA	CLASIFICACION DE CARGA ESTATICA
	Perforación		Diámetro exterior		Ancho		in							
	mm	in	mm	in	mm	in	H	S	t					
6300	10	.3937	35	1.3780	11	.4331	.125	1.562	.044	.025	.13	22000	1400	850
6301	12	.4724	37	1.4567	12	.4724	.125	1.625	.044	.040	.15	20000	1700	1040
6302	15	.5906	42	1.6535	13	.5118	.125	1.821	.044	.040	.20	18000	1930	1200
6303	17	.6693	47	1.8504	14	.5512	.141	2.074	.044	.040	.25	16000	2320	1460
6304	20	.7874	52	2.0472	15	.5906	.141	2.276	.044	.040	.34	14000	3000	1930
6305	25	.9843	62	2.4409	17	.6693	.195	2.665	.067	.040	.58	11000	3800	2550
6306	30	1.1811	72	2.8346	19	.7480	.195	3.091	.067	.040	.83	9500	5000	3400
6307	35	1.3780	80	3.1496	21	.8268	.195	3.406	.067	.060	1.07	8500	5700	4000
6308	40	1.5748	90	3.5433	23	.9055	.226	3.799	.097	.060	1.41	7500	7350	5300
6309	45	1.7717	100	3.9370	25	.9843	.226	4.193	.097	.060	1.95	6700	9150	6700
6310	50	1.9685	110	4.3307	27	1.0630	.226	4.587	.097	.080	2.50	6000	10600	8150
6311	55	2.1654	120	4.7244	29	1.1417	.271	5.104	.111	.080	3.30	5300	12900	10000
6312	60	2.3622	130	5.1181	31	1.2205	.271	5.498	.111	.080	3.81	5000	14000	10800
6313	65	2.5591	140	5.5118	33	1.2992	.304	5.892	.111	.080	4.64	4500	16000	12500
6314	70	2.7559	150	5.9055	35	1.3780	.304	6.286	.111	.080	5.68	4300	18000	14000
6315	75	2.9528	160	6.2992	37	1.4567	.304	6.679	.111	.080	6.60	4000	19300	16300
6316	80	3.1496	170	6.6929	39	1.5354	.346	7.198	.122	.080	9.53	3800	21200	18000
6317	85	3.3465	180	7.0866	41	1.6142	.346	7.593	.122	.100	11.00	3400	21600	18600
6318	90	3.5433	190	7.4803	43	1.6929	.346	7.986	.122	.100	11.60	3400	23200	20000
6319	95	3.7402	200	7.8740	45	1.7717	.346	8.380	.122	.100	13.38	3200	24500	22400
6320	100	3.9370	215	8.4646	47	1.8504	-	-	-	.100	16.34	3000	28500	27000
6321	105	4.1338	225	8.8582	49	1.9291	-	-	-	.100	17.8	2800	30500	30000
6322	110	4.3307	240	9.4488	50	1.9685	-	-	-	.100	21.0	2600	32500	32500
6324	120	4.7244	260	10.2362	55	2.1654	-	-	-	.100	32.3	2400	36000	38000
6326	130	5.1181	280	11.0236	58	2.2835	-	-	-	.12	40.1	2200	39000	43000
6328	140	5.5118	300	11.8110	62	2.4409	-	-	-	.12	48.1	2000	44000	50000
6330	150	5.9055	320	12.5984	65	2.5590	-	-	-	.12	57.8	1900	49000	60000





ANEXO IV

MÁQUINA ACCIONADA EJEMPLOS	MOTOR ELÉCTRICO	MOTORES DIESEL Y DE GASOLINA	
		4 A 6 CILINDROS	1 A 3 CILINDROS
Funcionamiento uniforme, con masas pequeñas a acelerar. Bombas hidráulicas y centrífugas, generadores eléctricos, ventiladores, máquinas herramientas, agitadores para líquidos, cintas transportadoras.	1.0-1.2	1.5	2.0
Funcionamiento uniforme, con masas medianas a acelerar. Máquinas para el plegado de chapa metálica, máquinas para el trabajo de madera, molinos, máquinas textiles, mezcladoras.	1.5	1.8	2.5
Con masas medianas a acelerar y un funcionamiento irregular. Hornos rotativos, máquinas de imprimir y de colorear, alternadores, trituradoras, devanadoras, máquinas de hilar, bombas para líquidos viscosos, transportadores por cadenas.	1.8	2.0	2.8
Con masas medianas a acelerar, funcionamiento irregular y choques. Mezcladoras para hormigón, martillos mecánicos, vagones de tracción por cable, molinos papeleros, bombas de hélice, devanadoras de cable, laminadoras para caucho.	2.0	2.5	3.0
Masas muy grandes a acelerar, funcionamiento irregular y fuertes choques. Excavadoras, molinos de martillos, bombas de embolo con volante, prensas, máquinas rotativas para perforaciones, cizallas, prensas de forja, prensas de estampación.	2.2	2.8	3.5
Masas muy grandes a acelerar, funcionamiento irregular y choques muy fuertes. Compresores y bombas de embolo sin volante, laminadoras pesadas, máquinas para la soldadura, prensas para ladrillos, machacadoras de piedras.	2.5	3.0	3.8

Periodo de Funcionamiento horas/día			
Mas de		2	12
hasta	2	12	24
Factor F2	1	1.15	1.3

Arranques por hora					
Mas de		10	40	120	200
hasta	10	40	120	200	
Cambios por hora	1	1.25	1.75	2.5	3

ANEXO V



Datos Técnicos del PM - Bloques Especiales Redondos PM 12 - PM 600

TAMAÑO ACOPLAMIENTO	12	18	27	40	60	90	130	180	270	400	600
kW / rpm	1.2 5	1.89	2.83	4.19	6.28	9.43	13.6 2	18.8 6	28. 29	41.9 1	62. 86
PAR NOMINAL TKN (kNm)	3.2	4.8	7.2	10.6 7	15.9 9	24.0	34.6 7	48.0	72. 0	106. 67	15 9.9 9
PAR MÁXIMO TK _{max} (kNm)	12. 0	18.0	27.0	40.0	60.0	90.0	130.	180.	270	400.	60 0.0
PAR VIBRATORIO TKW (kNm) (2)	1.0	1.5	2.25	3.33 4	5.0	7.5	10.8 33	15.0	22. 5	29.0	42. 75
CALOR DISIPADO PERMISIBLE A TEMP. AMBIENTE 30°C PKW (W)	130	150	180	220	260	300	340	375	440	490	56 5
VELOCIDAD MÁXIMA (rpm)	345 0	2975	265 0	238 0	205 0	183 0	1600	146 0	126 0	109 0	97 5

TAMAÑO ACOPLAMIENTO	0.4	0.7	1.3	3	6	8	12	18	27	40	60	90	130
kW / rpm	0.0 45	0.0 7	0.1 4	0.3 2	0.6 3	0.8 4	1.2 5	1.8 9	2.8 3	4.1 9	6.2 8	9.4 3	13 .6 2
PAR MÁXIMO TK _{max} (kNm)	0.4 3	0.6 7	1.3	3.0	6.0	8.0	12. 0	18. 0	27. 0	40. 0	60. 0	90. 0	13 0.
PAR VIBRATORIO TKW (kNm) (2)	0.0 54	0.0 84	0.1 63	0.3 75	0.7 5	1.0	1.5	2.2 5	3.3 75	5.0	7.5	11. 25	16 .2 5
CALOR DISIPADO PERMISIBLE A	26 6	32 2	365	45 8	56 4	56 2	67 0	79 8	870	10 18	11 59	12 09	13 69

Acoplamientos PM Tabla de Dimensiones Tipo PM-MM

TAMAÑO DEL ACOPLAMIENTOS	0.4	0.7	1.3	3	6	12	18	27	40
TIPO DE MOTOR	60	60	60	60	60	61	61	62	62
	2	3	4	6	8	0	2	6	8
cv	7	10	15	25	35	50	75	100	150
rpm	80	72	65	57	52	50	47	460	45
	0	5	0	5	5	0	5	0	0
A	16	18	18	21	26	26	33	39	44
	1.9	7.3	7.3	5.9	0.3	0	8	2	0
B	15	17	17	19	21	23	28	31	33
	3	2	2	6	9	7	1.5	8	6.5
C	1	2	2	2	3	3	3.5	4	4.5
D1	51	54	54	64	70	86	10	12	14
	5	3	3	7	9	5	5	5	5
F	14	17	17	19	23	24	31	36	40
	6	1.4	1.4	6.8	5	0	2	0	7
G	13	15	15	18	21	22	28	32	36
	3	7	7	1	4.3	2	0	0	7
H	13	15	15	18	18	18	18	21	21
	5	3	3	7	9	5	5	5	5
K	10	12	12	13	17	17	19	24	25
	2	1	1	3	1	8	0	4	4
K1	83	95	95	14	14	17	22	28	28
	6	6	1	2	6	6	6	6	6
L	44	50	50	63	76	82	92	11	12
	45	80	80	50	20	55	07	7.4	7.0
L1	76	88	88	10	12	12	15	18	20
	2	9	9	1.6	3.8	7	8.7	1	3.2
M	70	83	83	95	11	11	12	13	14
	7	9	8	1	1	4	124	7	9
N	31	33	33	35	35	37	45	52	40
	10	11	11	13	14	14	16	18	18
P	1	6	6	0	6	8	9	9	9
	20	25	25	33	33	40	48	58	58
V	3	4	4	0	0	6	3	4	4
	36	39	39	46	60	81	10	11	13
W							2	8	4
MÍN. Y	22	27	27	38	49	50	72	80	92
MÁX. Y	41	51	51	64	73	85	10	12	14
Z	3	3	3	3	3	3	3	5	5