

## CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE MOLIENDA EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE CARBONATO DE CALCIO

### Characterization of the milling system in the production process of calcium carbonate

#### RESUMEN

El sistema de molienda de la planta trituradora de mármol de la empresa MARMOLES DEL TOLIMA LTDA. Involucra altos costos en el proceso asociados con fallas en el funcionamiento de los diferentes equipos, debido a paradas inesperadas producto de fallas en la fase secundaria del proceso de molienda (Molino de martillos), puesto que en este equipo se ven afectados notablemente los martillos, y del desgaste que se genera en el tribo-sistema como consecuencia del abrasivo (mármol). En este documento se realiza un análisis del sistema de trituración y molienda para determinar los puntos críticos en estos, y se emiten soluciones para mejorar la productividad en esta empresa.

**PALABRAS CLAVES:** Productividad, paradas inesperadas, Tribo-sistema, Molino de martillos, Sector Minero.

#### ABSTRACT

The milling system of the crushing plant of the Enterprice MARMOLES DEL TOLIMA LTDA. High costs involved in the production process associated with failures in the operation of different equipment, due to unexpected product failures stops in the secondary phase of the milling process (Hammer Mill), since this equipment is significantly affected hammers as the product of attrition that is generated at the tribo-system as a result of the abrasive (marble). This paper analyzes a crushing and milling system to determine the critical points in these, and broadcast solutions to improve productivity in this business.

**KEYWORDS:** productivity, unwaited stops, tribo-system, Hammer Mill, mining sector.

#### 1. INTRODUCCIÓN

En MÁRMOLES DEL TOLIMA, la fase primaria de Molienda, está compuesta por la trituradora de mandíbulas, en esta etapa el material ingresa con una medida aproximada de 25 cm, al salir el material ya triturado (aprox 1”), posteriormente la materia prima triturada (mármol), se conduce por gravedad hacia el molino de martillos el cual se encuentra en la fase secundaria del proceso, este cumple con la función de disminuir aún más su tamaño y posteriormente entregar el material al elevador de cangilones, el cual lo eleva aproximadamente 10m, donde es entregado a un ducto que conduce el material a la zaranda que por medio de movimientos vibratorios separa el material en cuatro granulometrías diferentes.

Fecha Recepción: 9 de Septiembre de 2010  
Fecha aceptación: 15 de Noviembre de 2010

#### OSCAR ARAQUE DE LOS RIOS

Ingeniero Mecánico, M Sc Prof. del Dpto. de Ing. Mecánica  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
[oscar.araque@unibague.edu.co](mailto:oscar.araque@unibague.edu.co)  
[ojaraque@yahoo.com.mx](mailto:ojaraque@yahoo.com.mx)

#### JUAN MANUEL OLAYA H.

Ingeniero Mecánico  
Universidad de Ibagué (Colombia)  
[jumao17@hotmail.com](mailto:jumao17@hotmail.com)



Figura 1. Molino de martillos

#### 2. VARIABLES FÍSICOMECAÑICAS QUE CARACTERIZAN EL PROCESO DE TRITURACION Y MOLIENDA.

En los procesos de trituración y molienda, existen diferentes factores que afectan la producción, estas variables son el flujo volumétrico, la naturaleza de la operación, y el material utilizado.

## 2.1 Flujo Volumétrico y Naturaleza de la Operación

En esta empresa se estima un flujo volumétrico diario. Esto se debe a que hay diversos factores que hacen que no haya una estabilidad en la producción, y se pueda medir mensual como en otras industrias de este tipo. Los factores que juegan un papel importante son los siguientes: Durante el día generalmente se presentan paradas inesperadas por atascamiento en el molino de martillos o en el elevador de cangilones, otro de los factores es la recepción del material proveniente de la mina, ya que hay un solo vehículo que realiza esta labor de transportar el mármol, además el despacho de material ya procesado a los clientes es otro de los factores que generan interrupciones en la producción de la empresa, debido a que son realizados por los mismos operarios.

La empresa tiene una producción promedio, en óptimas condiciones de operación de 6 toneladas por hora. Una de las consideraciones importantes a tener en cuenta es que la capacidad de la trituradora es de 5 a 20Ton/hora, significa que se está desaprovechando capacidad de la máquina trituradora de mandíbulas en la producción, y la empresa podría estar obteniendo la misma producción en la mitad del tiempo [1].

## 2.2 Características del Material Utilizado para la Trituración

	ROCA 1 (cm)	ROCA 2 (cm)	ROCA 3 (cm)	ROCA 4 (cm)	ROCA 5 (cm)
Medida 1 (largo)	33	40	36	31	36
Medida 2 (ancho)	24	18	14	18	28
Medida 3 (Espesor)	10	17	14	15	10
Promedio medida cm	22	25	21	21	25
Peso Libra	18,5	21	21,5	17	15,5

Tabla 1. Medidas de la roca antes de pasar por la trituradora de Mandíbulas

El material utilizado en la trituración es mármol, extraído de una mina ubicada en la vereda la paloma municipio de San Luis Tolima, la cual se extrae mediante explotación a cielo abierto por medio de detonaciones con explosivos, posteriormente a la voladura (Explotación con explosivos), las rocas tienen un tamaño aún grande para la manipulación de los empleados, lo que obliga a que sean partidas con martillos de 20 Lb, en la tabla 1 se muestra las configuraciones geométricas y tamaños promedio de las rocas.

## 2.3 Capacidad de la Trituradora de Mandíbulas

La capacidad de la trituradora de mandíbulas que se encuentra en funcionamiento actualmente en la planta cuenta con las siguientes características:

Medidas de la boca en (mm): 300 X 450

Máximo tamaño de alimentación en (mm): 250

Capacidad (t/h): 12 t/h

La trituradora de mandíbulas a plena carga, tarda un tiempo de 1 hora en la trituración de 12 Ton, que es el equivalente de un viaje de una volqueta. Esta producción se ve afectada debido a que no se puede estar alimentando constantemente la trituradora ya que el molino de martillos no soporta toda la carga proveniente de la trituradora, lo que ocasione que se tenga que parar la alimentación aproximadamente cada 5 min, por un rango de aproximadamente 2 min, hasta que el molino de martillos descargue.

Si se alimenta ininterrumpidamente la trituradora de mandíbulas ocasiona que se genera un atascamiento en el molino de martillos. Si se multiplican los tiempos muertos que son aproximados a dos minutos por cada 5 min de trabajo, indica que se están perdiendo aproximadamente 24 min por cada hora de trabajo, que serían 3 horas y 20 min en un turno de ocho horas.

## 2.4 Material Después de la Trituración

El material proveniente de la trituradora de mandíbulas ingresa al molino de martillos con un tamaño, peso y forma geométrica determinadas esto depende de la abertura de la mandíbula ya que esta es graduable para permitir diferentes granulometrías según se requiera, cabe destacar que la capacidad de el molino de martillos instalado en el sistema, indica que el tamaño máximo de alimentación es de 30 mm, por tanto el tamaño con el que está llegando la piedra, ver Tabla 3.



Figura 2. Muestras después de la trituradora de mandíbulas

	ROCA 1 (cm)	ROCA 2 (cm)	ROCA 3 (cm)	ROCA 4 (cm)	ROCA 5 (cm)
Medida 1 (largo)	7	5	4,5	4,5	5
Medida 2 (ancho)	4	3	4	2,5	3,5
Medida 3 (Espesor)	2,5	2	3	2	2,5
Promedio medida cm	4,5	3,3	3,8	3	3,7
Peso Gramos	85	40	45	40	50

Tabla 2. Medidas de las muestras a la salida de la trituradora de mandíbulas

### 2.5 Propiedades del Mármol

Es un mineral que está constituido químicamente por  $\text{CaCO}_3$ , el cual se extrae de rocas calizas.

Carbonato de Calcio  
Fórmula:  $\text{CaCO}_3$

Densidad entre 2.38 y 2.87  $\text{gr/cm}^3$

Dureza entre 3 y 4

Absorción de agua en peso entre 0.2 y 0.7 %

Resistencia a la compresión entre 600 y 1000  $\text{kg/cm}^2$

Resistencia a la tracción entre 100 y 360  $\text{kg/cm}^2$

### 3. IDENTIFICACION Y EVALUACION DE LAS FALLAS

La falla más relevante del sistema, es la presente en los martillos ya que el desgaste sufrido es muy severo, debido al permanente contacto (Metal – Abrasivo) lo que hace que los martillos se acorten por el desgaste y de esta manera disminuyen su tamaño lo que ocasiona que el área de contacto entre el material a fraccionar (Mármol) y la herramienta de trabajo (Martillo) se amplíe ocasionando una sobrecarga en la cámara, que genera atascamiento de la maquina.

Los martillos laterales sufren un desgaste mayor que aquellos que trabajan en el centro, debido principalmente

al mayor rozamiento presente entre las áreas laterales del martillo y las placas anti desgaste del bastidor y al atascamiento que tiende a presentar la roca en estas cavidades.

Para analizar el desgaste de los martillos se tienen en cuenta las siguientes causas:

1. Material
2. Diseño
3. Montaje
4. Condiciones de operación

### 3.1 Material del Martillo

Los martillos desintegradores utilizados por Mármol del Tolima son fabricados mediante la consecución de hojas de resorte usadas de camión, las cuales se consiguen en las chatarrerías de Ibagué. Estas hojas de resorte se encuentran en diferentes longitudes, algunas se encuentran por pedazos ya que estas han sido partidas durante el uso. Posteriormente a la consecución de este material se procede a trazar la plantilla con el diseño del martillo y mediante un equipo de corte con oxiacetileno se realizan los cortes.



Figura 4. Martillo

Posteriormente a la obtención de los martillos, figura 4, se realiza un recubrimiento a los mismos aplicando cordones de soldadura por sus caras laterales y por las caras de ataque, se toman los martillos uno por uno y se procede a realizar cordones aproximadamente a cinco centímetros del extremo, primero se procede a realizar una base con soldadura 7018, esto para mejorar la penetración del cordón, de esta soldadura se depositan dos cordones por pasada, luego el martillo se expone al ambiente para bajar su temperatura y posteriormente realizar el depósito de soldadura (West Hard 65), de la cual también se aplican dos cordones por pasada, hay que tener en cuenta que mediante la aplicación de los

cordones no se hace un control de temperatura., figura 5, esto debido a recomendaciones del proveedor del molino de martillos y el estudio del catalogo del proveedor el cual indica que para las condiciones de operación esta es apta para soportar los fenómenos de Abrasión e Impacto.



Figura 5. Martillo recubierto con West Hard 65

### 3.2 Angulo de Incidencia

Debido a que el martillo no cuenta con un diseño basado en estudios, se han cortado las esquinas para permitir el paso en la cámara donde está alojado el sistema de cribado, figura 4, lo cual hace que sea de mayor tamaño en las esquinas y de menor tamaño en su parte central esto conlleva a que haya un ángulo de incidencia mal calculado debido a que solamente son las esquinas las puntas de incidencia en el ataque, generando que el área de contacto se centre únicamente en ellas y principalmente en una sola de las esquinas de ataque, ya que el sentido de giro se genera en una sola dirección, lo que conlleva que los martillos tengan que ser rotados constantemente dando un giro de 180°, para que su desgaste sea simétrico.

### 3.3 Montaje del Martillo

Se levanta la tapa superior del molino, la cual se asegura con pernos en la parte exterior, cuando se ha levantado la tapa se retira la chumacera que asegura el rodamiento, para poder levantar el eje central el cual aloja cinco discos en los que se incrustan los pasadores que sostienen los martillos, (16 unidades) en total, seguidamente de haber levantado el eje central, el operario procede con una pulidora a retirar las soldaduras que fijan los pasadores, cuando se han retirado estas soldaduras se extraen los pasadores y se coloca en posición cada martillo. Finalmente cuando están en su lugar todos los martillos se realizan cordones de soldadura entre el

pasador y el disco, esto con el fin de fijarlos para que no se salgan de su lugar. Figura 6. Terminado esto se coloca el eje en su posición, se alinea el rodamiento, para poder asegurar la chumacera, para finalmente poner la tapa superior y de esta manera asegurar los pernos.



Figura 6. Vista frontal montaje de los martillos

### 3.4 Condiciones de Operación

Las condiciones de operación en el molino de martillos están determinadas básicamente por cuatro factores que influyen en el sistema lo cual es la carga, el sentido de giro, tamaño de grano y la apertura de la criba. Estos factores tienen en gran medida la responsabilidad del óptimo funcionamiento del equipo, y son factores determinantes en la falla presente en los martillos del molino.

#### 3.4.1 Carga Excesiva

Este factor es determinante ya que el molino actualmente tiene una capacidad que está siendo excedida, debido a que la trituradora de mandíbulas cuenta con una capacidad de producción de 12 Toneladas por hora mientras que el molino de martillos posee una capacidad de producción de aproximadamente 7 Toneladas hora lo cual conlleva a que se genere atascamiento debido a la sobrecarga dentro de la cámara, como se puede observar en la figura 7. Además del suministro proveniente de la trituradora de mandíbulas, está el hecho de que el molino soporta la carga proveniente del rechazo de la zaranda, que es el material que no alcanza a ser clasificado y tiene que volver a ser remolido. Estos dos factores propician que la capacidad máxima de trituración del molino este siendo excedida y este causando un incremento mayor en el desgaste de los martillos del molino.





Figura 7. Carga excesiva

### 3.4.2 Sentido de Giro

El sentido de giro de los martillos en el sistema está determinado básicamente por el movimiento del motor, este movimiento está en el mismo sentido de alimentación. No se ha experimentado invirtiendo el sentido de giro para recibir directamente el material impactándolo sin dejar que llene la cámara.

### 3.4.3 Tamaño de Grano

La alimentación que tiene el molino de martillos es heterogénea debido a que están llegando diferentes tamaños de grano, pero en el caso más crítico el tamaño de grano que recibe es de 7 cm (ver Tabla 2).

### 3.4.4 Apertura de la Criba

Otro de los factores determinantes en las condiciones de operación del molino de martillos y que influye notablemente en el desgaste de los martillos es la apertura de la criba ya que esta es la que permite la salida del material molido de la cámara, de esta manera entre más cerrada la criba más tardará el material en ser evacuado de la cámara y viceversa.



Figura 10. Cribas de tamizado

La criba es muy importante para la producción de la planta, debido a que dependiendo del requerimiento de la producción de esta manera se dispone la apertura. Si se

necesitan más finos se cierra la criba para permitir que el material sea remolido y disminuya el rechazo, esto conlleva a que la alimentación se tenga que hacer más pausada retrasando de esta manera la producción, esto también trae como consecuencia que la permanencia de contacto metal – abrasivo sea más prolongado haciendo que el desgaste se intensifique.

## 5. PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO

### 5.1 Falla en los Martillos

La falla de mayor recurrencia en los equipos es la presentada en el molino de martillos, por parte del desgaste excesivo que estos poseen, este desgaste afecta notablemente la producción de la empresa, debido a que se están generando paradas por mantenimiento cada 48 horas de trabajo lo cual es tiempo de producción que se está desaprovechando ya que la recuperación de cada martillo tarda aproximadamente 20 minutos y si se multiplica esto por los dieciséis elementos con los que cuenta, da un tiempo aproximado de 5 horas de mantenimiento por cada 48 horas de trabajo, significa que hay una pérdida del 10.41% del tiempo de trabajo. Acompañado a esto se tiene el costo económico por mantenimiento lo cual incrementa los costos de producción notablemente, debido a que cada electrodo de soldadura West Hard 65 tiene un valor de \$4.960 C/U, y cada martillo requiere de dos electrodos para ser recuperado, que son equivalentes a \$9.920, que se invierte en cada martillo por cada 48 Horas de trabajo. Estas 48 Horas corresponden aproximadamente a una semana de trabajo lo cual conlleva a que se tenga que hacer cuatro recuperaciones por mes.

Si se multiplica el valor invertido en cada martillo por semana, da que la inversión es de \$39.680 C/U por mes y si este valor se multiplica por la totalidad de los elementos, 16 en total, da un gasto por mantenimiento de \$634.880 al mes.

A este valor se le incluye un incremento en la factura de energía del 10% ya que se manejan altos amperajes para trabajar este tipo de soldaduras, esto corresponde a un valor promedio de \$150.000 por mes.

El operario encargado de realizar la operación de mantenimiento y recuperación es el jefe de planta de la empresa el cual tiene una bonificación adicional al sueldo de \$500.000 por mes.

Si se suman estos valores, da que los martillos del molino tiene un costo por mantenimiento de \$1.284.880 por mes y un valor de \$15.418.560 al año.

Debido a esto se hace necesario plantear alternativas de solución con el fin de incrementar la vida de los martillos, y de esta manera disminuir los costos por mantenimientos.

## 5.2 Perdidas por Tiempos Muertos

Uno de los factores importante que afecta la producción son los tiempos muertos debido a que no se puede estar alimentando constantemente la trituradora ya que el molino de martillos no soporta toda la carga proveniente de la trituradora, lo que ocasiona que se tenga que parar la alimentación aproximadamente cada 5 min, por un rango de aproximadamente 2 min, hasta que el molino de martillos descargue.

Si se alimenta ininterrumpidamente la trituradora de mandíbulas ocasiona que se genera un atascamiento en el molino de martillos. Si se multiplican los tiempos muertos que son aproximados a dos minutos por cada 5 min de trabajo, esto indica que se están perdiendo aproximadamente 24 min por cada hora de trabajo, que son 3 horas y 20 min en un turno de ocho horas.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El proceso de trituración primaria, tiene la capacidad para un óptimo funcionamiento ya que la capacidad recomendada para este tipo de trituradoras es de 5-20 Ton/h y según información suministrada por la empresa, la trituradora de mandíbulas a plena carga, tarda un tiempo de 1 hora en la trituración de 12 Ton, que es el equivalente de un viaje de una volqueta. Esta producción se ve afectada debido a que no se puede estar alimentando constantemente la trituradora ya que el molino de martillos no soporta toda la carga proveniente de la misma, lo que ocasiona que se deba parar la alimentación aproximadamente cada 5 min, por un rango de aproximadamente 2 min, hasta que el molino de martillos descargue.
- Si se alimenta ininterrumpidamente la trituradora de mandíbulas ocasiona que se genera un atascamiento en el molino de martillos. Si se multiplican los tiempos muertos que son aproximados a dos minutos por cada 5 min de trabajo, esto indica que se están perdiendo aproximadamente 24 min por cada hora de trabajo, que serían 3 horas y 20 min en un turno de ocho horas.
- El material proveniente de la trituradora de mandíbulas ingresa al molino de martillos con un tamaño, peso y forma geométrica determinadas esto depende de la abertura de la mandíbula ya que esta es graduable para permitir diferente granulometrías según se requiera, cabe destacar que la capacidad del molino de martillos indica que el tamaño máximo de alimentación es de 30 mm, lo cual conlleva a que el tamaño con el que está llegando sea mayor que el requerido para la trituración ya que en ocasiones están llegando rocas con un tamaño aproximado de 7 cm.
- La empresa tiene una producción promedio, en óptimas condiciones de operación de 6 toneladas por hora. Una de las consideraciones importantes a tener en

cuenta es que la capacidad de la trituradora es de 5 a 20Ton/hora, esto quiere decir que se está desaprovechando capacidad de la máquina trituradora de mandíbulas en la producción, y la empresa podría estar obteniendo la misma producción en la mitad del tiempo.

- La recomendación según el estudio realizado consiste en reemplazar el molino de martillos por uno de capacidad mayor a 18 ton/h, ya que este está siendo excedido en su capacidad por las dos entradas de material, una proveniente directamente de la trituradora de mandíbulas y la otra proveniente de la zaranda vibratoria.

## 7. AGRADECIMIENTOS

A la oficina de investigaciones de la Universidad de Ibagué por la financiación del proyecto 09-152-800027, a las directivas de la Empresa MARMOLES DEL TOLIMA, Payandé Tolima. Por permitir el acceso a las instalaciones.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IMMER, John. Manejo de Materiales, Hispano Europea.
- [2] CORZO, Miguel Ángel; Introducción a la ingeniería de proyectos. Editorial Limusa 1986. México.
- [3] OCAMPO G. Luis Hernando. Sistemas de transporte de materiales, Universidad Tecnológica de Pereira.
- [4] OROZCO ALZATE, Nelson. Introducción al mantenimiento y manejo de materiales. 2ª edición. Universidad Nacional de Colombia seccional Medellín 1981.
- [5] CENTRO DE ESTUDIOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO URBANO Y REGIONAL. Diagnóstico del estado económico y tecnológico del subsector agregados pétreos, Universidad de los Andes, 1977.
- [6] SHIGLEY, Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. México: Mc-Graw Hill 1990.
- [7] INFANTE V. Arturo. Evaluación económica de proyectos de inversión. 4ta Edición. Cali: Banco Popular, 1979, pág. 47.