

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN
DE AGREGADOS MINERALES**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

FRANCISCO ANTONIO GUERRA FLORES

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 23 de mayo de 1,999.

Francisco Antonio Guerra Flores

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2o.	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
VOCAL 3o.	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
VOCAL 4o.	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL 5o.	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Dr. Rodolfo Francisco Espinosa Smith
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León Paz
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas



Guatemala, 1 de septiembre de 1999

Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero de León.

Por este medio me permito informarle que he revisado el informe final de tesis del estudiante de la carrera de Ingeniería Química Francisco Antonio Guerra Flores, carné 94 15574, titulado **OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES.**

Considero que el trabajo cumplió con los objetivos propuestos por lo que lo remito a su consideración para proseguir con los trámites correspondientes.

Atentamente

Ing. Qco. Jorge Díaz Alonzo

Asesor de Tesis



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 17 de septiembre de 1,999.

Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero de León.

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el Informe Final de Tesis, titulado: **OPTIMIZACION DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE AGREGADOS MINERALES** del estudiante **Francisco Antonio Guerra Flores**, dejo constancia de aprobación para la autorización del respectivo trabajo.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

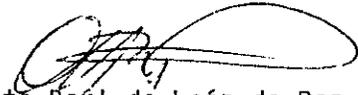
Dr. Adolfo Gramajo Antonio
REVISOR

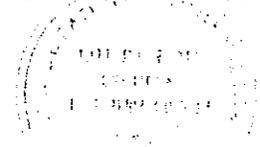
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante Francisco Antonio Guerra Flores, titulado: **OPTIMIZACION DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE AGREGADOS MINERALES**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, noviembre de 1,999.

/ga

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **OPTIMIZACION DE UNA PLANTA DE FABRICACION DE AGREGADOS MINERALES**, del estudiante **Francisco Antonio Guerra Flores**, procede a la autorización para la Impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, noviembre de 1,999.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

Esperanza y Amilcar, con amor y respeto.

A MI FAMILIA

**En especial a mis hermanos, a mi abuela y a mi tío
Rómeo.**

A MIS AMIGOS

Con cariño para todos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas la personas y entidades que de una u otra manera colaboraron con la realización del presente trabajo, especialmente al Dr. Adolfo Gramajo y al Ing. Jorge Díaz por su valiosa colaboración.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	VIII
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	XII

PRIMERA PARTE: PLANTAS DE FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES

1. ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES	1
1.1 Estudios geológicos	1
1.2 Explotación de cantera	2
1.3 Alimentación primaria	2
1.4 Trituración primaria	3
1.5 Pila intermedia	3
1.6 Clasificación primaria	4

1.7 Trituración secundaria	4
1.8 Zarandas clasificadoras	5
2. OPERACIONES REALIZADAS EN PLANTAS DE TRITURACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS	7
2.1 Operaciones de trituración	7
2.1.1 Fuerza y quebradura	7
2.1.1.1 Energía requerida	8
2.1.1.2 Mecanismos de trituración y tipos de trituradoras	9
2.1.1.3 Etapas de trituración	9
2.1.2 Equipo de trituración	10
2.1.2.1 Trituradoras de mandíbulas	11
2.1.2.2 Trituradoras giratorias	12
2.1.2.3 Trituradoras de rodillos lisos	13
2.1.2.4 Trituradoras de impacto	14

2.2 Operaciones de tamizado	16
2.3 Operaciones de transporte de sólidos	18
2.3.1 Alimentadores	18
2.3.1.1 Alimentadores vibratorios	18
2.3.1.2 Alimentadores continuos	19
2.3.2 Transportadores de bandas	19

**SEGUNDA PARTE: OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE
FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES**

3. CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROYECTO	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>41</u>
<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>42</u>
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>43</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>45</u>

APÉNDICES

Apéndice A.	Tipos de trituradoras	46
Apéndice B.	Tipos de aberturas de las mallas en las zarandas	48
Apéndice C.	Tipos de plantas de trituración	49
Apéndice D.	Cálculo de muestra	50
D.1	Cálculo de la capacidad de una zaranda	50
D.2	Cálculo del aumento de la producción después de la implementación de las acciones correctivas	52
D.3	Balance de masa del sistema de trituración de las líneas 1031 y 1032	53
Apéndice E.	Datos calculados	54
E.1	Análisis del sistema actual de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032	55
E.2	Análisis del sistema de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032, centralizando el cuello de botella en la trituradora de hidrocono	56
E.3	Análisis del consumo energético por tonelada de alimentación en el sistema actual, con un aumento en la producción del 73% y del 325%.	57

Apéndice F.	Datos de los equipos de las líneas 1031 y 1032	58
Apéndice G.	Diagramas	59
G.1	Diagrama de flujo de las líneas de trituración 1031 y 1032, sistema actual.	60
G.2	Diagrama de flujo de las líneas de trituración 1031 y 1032 después de centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono.	61
Apéndice H.	Otros datos de utilidad	62
H.1	Factor de velocidad del material para zarandas inclinadas	62
H.2	Factor de corrección Q para capacidades de zarandas	63

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figuras

1	Proceso general en una planta de trituración	XI
2	Mapa tridimensional del área cantera	1
3	Explotación de cantera	2
4	Mecanismos de abrasión, compresión e impacto para la fracturación de rocas	8
5	Representación de los mecanismos de fracturación de partículas y la distribución del tamaño de producto	10
6	Esquema general de una trituradora de mandíbulas	11
7	Trituradora giratoria	12
8	Esquema general de una trituradora de rodillos lisos	13
9	Esquema general de una trituradora de impacto	14
10	Esquema general de una zaranda	16
11	Zaranda en operación en una planta de manufactura de agregados minerales	17
12	Esquema de las partes de un transportador de bandas	20
13	Operación del sistema para centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono	34
14	Balance de masa del sistema al centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono	40
15	Gráficas de la granulometría del producto de la trituración primaria	36

TABLAS

I	Equipos utilizados en cada etapa del proceso en las líneas de producción 1031 y 1032	23
II	Granulometría del producto de la trituradora de hidrocono	37
III	Distribución de los productos en la alimentación y como productos finales	37
IV	Relación práctica para determinar el espesor máximo de la cama de una zaranda	XXIII
V	Análisis del sistema actual de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032	XXVII
VI	Análisis del sistema de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032, centralizando el cuello de botella en la trituradora de hidrocono	XXVIII
VII	Análisis del consumo energético por tonelada de alimentación en el sistema actual, con un aumento de la producción del 73% y del 325%	XXIX
VIII	Datos de los equipos de las líneas 1031 y 1032	XXX
IX	Factor de velocidad del material para zarandas inclinadas	XXXIV
X	Factor de corrección Q	XXXV

GLOSARIO

- Agregado** Material obtenido por fragmentación natural o artificial de piedra, utilizado como aditivo en la elaboración de concreto.
- Arcillas** Silicatos hidratados de aluminio, de color variado que depende de los óxidos presentes. Según la terminología utilizada en el estudio del suelo, la palabra arcilla no indica una unidad química, sino una unidad de tamaño coloidal menor a 0.002 mm.
- Caliza** Roca sedimentaria, compuesta principalmente por carbonato de calcio, CaCO_3 .
- Curva granulométrica** Expresión gráfica de la distribución del tamaño de partícula, con el tamaño considerado en el eje de abscisas y el porcentaje de partículas menores (o mayores) a cada tamaño considerado en el eje de ordenadas.
- Distribución de tamaño** Expresión, en porcentajes, de la cantidad de partículas más pequeñas que una serie de tamaños considerados.
- Mineral** Sustancia inorgánica de origen natural que puede ser definido por sus propiedades físicas y químicas.
- Piedra** Roca que debido a su alta resistencia mecánica y estabilidad en el agua, puede ser utilizada en obras civiles.

Piedrín Material resultante de la fractura artificial de piedra, con un tamaño menor a 4.8 mm y mayor a 0.075 mm.

Tamiz Cedazo de hilos regularmente metálicos de grosor y apertura dados, utilizado para separar sólidos de distintos tamaños.

RESUMEN

En la planta "La Pedrera", de la empresa Horcalsa se fabrican varias clases de agregados minerales para la construcción, para lo cual se cuenta con cuatro líneas de producción; dos de ellas, denominadas 1031 y 1032, presentan una baja productividad como consecuencia del diseño de la planta y de diversos problemas de operación. El objetivo del trabajo de tesis es hacer una revisión de estas dos líneas con el fin de optimizarlas para así aumentar su producción.

Las líneas en estudio se encuentran ubicadas aledañosamente y aunque inicialmente fueron diseñadas para trabajar de manera independiente, se decidió unirlas debido a la mala operación de la etapa de trituración secundaria de la línea 1031. Repercutiendo en una disminución de su producción al poder operar solamente una línea a la vez.

Se llevó a cabo una revisión de las instalaciones y se evaluaron los equipos y sus eficiencias determinándose los cuellos de botella existentes. Se encontró que las máquinas mayores, las que tienen un costo mayor, como lo son las trituradoras; tienen una capacidad mucho mayor del utilizado y que la baja producción en las líneas se debe a los equipos menores y auxiliares como los son las zarandas, bandas transportadoras y conductos de transporte (chifles).

Se determinó que en las condiciones actuales la planta puede procesar adecuadamente 130 ton/h, trabajando las líneas de manera individual, lo cual representa un aumento del 73% con respecto a los datos de producción del último año y una disminución en los costos de fabricación del 42%. Se produce una separación óptima, en las etapas de separación primaria y secundaria, cuando se trabaja a una capacidad de 75 ton/h.

Luego de poner en funcionamiento la trituradora secundaria de la línea 1031, se determinó que la manera de mantener al tope las trituradoras es trabajando ambas líneas unidas, aprovechando la gran capacidad de la trituradora de hidrocono de la línea 1032 y el sistema de clasificación y recirculación de la línea 1031 (Ver. Figura No. 14).

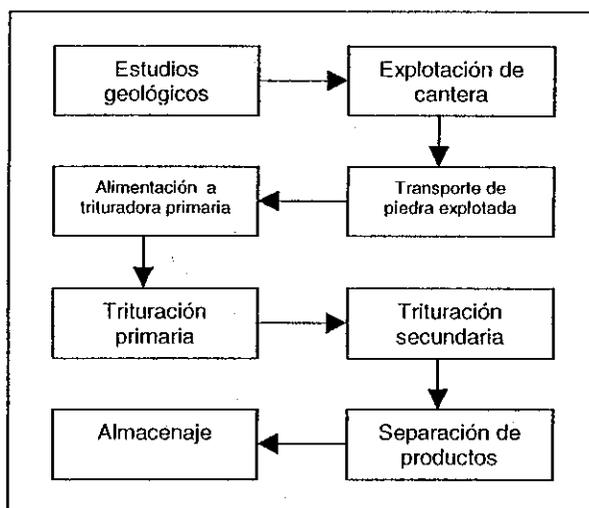
Se determinó además, que para lograr la máxima productividad en las líneas en estudio deben adquirirse dos zarandas, para la separación secundaria y terciaria, ambas de 8 x 20 pies, lo cual permitirá manejar una cantidad de 320 ton/h, centralizando el cuello de botella en la trituradora de hidrocono. Con dicho cambio se espera un aumento en la producción del 325% y una disminución en los costos de fabricación de hasta el 64%.

INTRODUCCIÓN

En la fabricación de agregados minerales se llevan a cabo una serie de etapas que conllevan desde la investigación geológica hasta la separación final de los productos, pasando por una serie de etapas intermedias que alternan operaciones de transporte, trituración y separación de sólidos.

Existen varios tipos de plantas de trituración, como lo son las plantas: estacionarias, semi-portátiles y portátiles; los cuales se muestran detalladamente en el apéndice C. En la figura No.1 se muestra un diagrama de bloques de un sistema general de trituración.

Figura No.1. **Proceso general en una planta de trituración**



El grado de complejidad de una planta de trituración está dado en función del tipo de material a triturar, las características del producto final, la capacidad de la planta, la topografía de lugar, el sistema de controles automáticos que posea, la calidad de los productos y principalmente el presupuesto que se tenga para llevar a cabo la instalación de la planta.

El objetivo de este trabajo es describir los aspectos más importantes de las plantas de fabricación de agregados minerales, sus distintos tipos y los equipos con que cuentan y aplicar los conocimientos sobre las técnicas y procedimientos empleados en estas plantas en un problema real, presentado en la planta "La Pedrera", la cual se dedica a la manufactura de agregados minerales a partir de piedra caliza

El trabajo se divide en dos partes: la primera parte presenta en forma general las etapas y los equipos con los que cuentan las plantas de trituración. En la segunda parte se expone el problema de la optimización de dos líneas de producción en la planta "La Pedrera", el análisis del problema, así como la formulación de recomendaciones prácticas dirigidas a dicha optimización.

PRIMERA PARTE

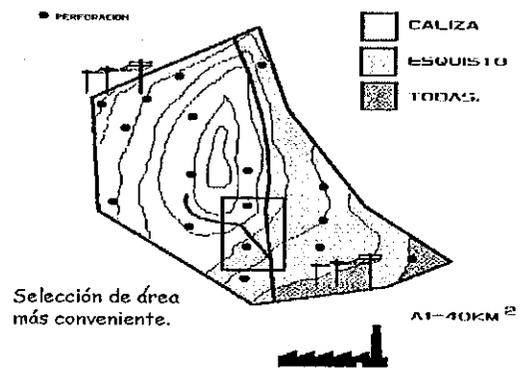
**PLANTAS DE FABRICACIÓN DE
AGREGADOS MINERALES**

1. ETAPAS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE AGREGADOS MINERALES

1.1 Estudios geológicos

Los estudios geológicos tienen como principal fin, dar a conocer las zonas en las que se encuentra el material que se quiere explotar, así como clasificarlo en sus distintos grados de pureza y hacer un análisis cuantitativo del mismo. Para tal fin, se extraen muestras en lugares estratégicos, por medio de barrenos y se estudian sus propiedades físicas y químicas.

Figura No.2 Mapa tridimensional del área cantera



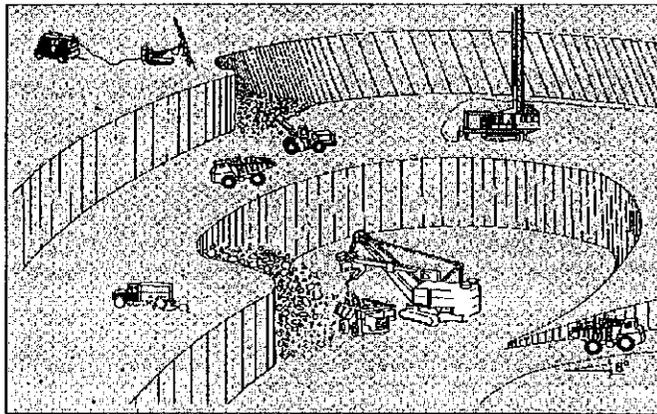
Fuente: Cementos Progreso S.A., Presentación del proceso de fabricación de cemento.

La información obtenida es generalmente procesada por medio de computadoras para obtener un mapa tridimensional de la zona, haciendo una clasificación de los distintos materiales. En la figura No.2 se muestra un mapa tridimensional obtenido con dicha información.

1.2 Explotación de cantera

Como se muestra en la Figura No.3, la piedra que ha sido seleccionada después de realizar los estudios geológicos, se extrae por medio de explosiones controladas o por medio de tractores. Luego se utilizan cargadores para depositar la roca en camiones para después ser transportados hacia las líneas de trituración.

Figura No.3 Explotación de cantera



Fuente: Cementos Progreso S.A., Presentación del proceso de fabricación de cemento.

1.3 Alimentación primaria

Los alimentadores primarios dosifican, a la trituradora primaria, la piedra explotada en la cantera. La piedra se deja caer directamente de los camiones al alimentador por lo que éstos deben estar fabricados de un material muy resistente al impacto y la abrasión.

1 . 4 Trituración primaria

La trituradora primaria es la encargada de reducir la piedra a un tamaño adecuado para la trituración secundaria. Es seleccionada de acuerdo a la capacidad de producción y/o su abertura de alimentación. Las trituradoras primarias más comunmente utilizadas son: de mandíbulas, giratorias y de impacto.

1 . 5 Pila intermedia

También se le llama pila amortiguadora, su objetivo es el de regular la alimentación de la trituradora secundaria y a la vez, evitar una interrupción de las operaciones de trituración debido a la falta de alimentación de la trituración primaria .

El volumen de la pila intermedia está generalmente determinado para que la operación de trituración secundaria pueda ser mantenida. Dependiendo de las necesidades tales operaciones pueden mantenerse desde unas pocas horas hasta algunos días.

1 . 6 Clasificación primaria

El objetivo de la clasificación primaria es el de separar el material fino antes de la trituración secundaria. Puede llevarse a cabo por medio de una zaranda intermedia o por grizzlies. La selección está basada en la capacidad requerida y el tamaño de alimentación, así como de la eficiencia de la clasificación.

En plantas de trituración pequeñas son más utilizadas las zarandas intermedias y medianas, mientras que para trabajos más pesados es recomendado el uso de zarandas de platos perforados y grizzlies vibratorios, éstos últimos son de construcción robusta y ofrecen una alta capacidad pero una baja eficiencia.

1 . 7 Trituración secundaria

La trituración secundaria es usualmente realizada en varias etapas las cuales dependerán del tamaño del producto deseado. La selección del tipo de trituradora para cada etapa está basada en las características del material de alimentación (tamaño máximo, humedad, contenido laminar, etc.), el producto deseado y la capacidad requerida.

Para la primera etapa de la trituración secundaria, la trituradora debe tener una abertura de alimentación grande, de manera que permita que la trituradora primaria trabaje con la mayor abertura de descarga.

Los equipos que más se utilizan para esta etapa son las trituradoras de hidrocono y en algunos casos, trituradoras de impacto. Para trituración secundaria fina, donde el objetivo es una gran cantidad de finos (arena artificial, alimentación de molinos, etc.), las máquinas más utilizadas son conos, conos hidrofinos y trituradoras de rodos.

1 . 8 Zarandas clasificadoras

En estas máquinas se separan los productos en base a su tamaño. La selección de una zaranda clasificadora entre la variedad de modelos disponibles dependerá del tipo de trabajo, la capacidad requerida, el espacio disponible para la instalación y las características del material.

Los tipos de zarandas más utilizados son las zarandas inclinadas vibratorias, seguidas por las zarandas horizontales vibratorias y por último las zarandas giratorias.

El dimensionamiento apropiado de estas máquinas es de vital importancia para asegurar un funcionamiento adecuado de toda la planta, así como separar los productos dentro de especificaciones cada vez más severas.

Aún cuando el proceso de dimensionamiento de zarandas es moderado, es siempre recomendado, mientras sea posible, el utilizar zarandas más grandes que las calculadas debido a lo siguiente:

- a) Posibilidad de cambios del tamaño del producto (cambio de tamaño de mallas en las zarandas)
- b) Incertidumbre del comportamiento del material en la zaranda: partículas laminares o de conformado de aguja, así como humedad, hace el tamizado más difícil.
- c) La necesidad de ofrecer una mejor calidad de separación; un factor muy importante cuando la zaranda es usada en un circuito cerrado.
- d) El costo de una zaranda más grande es pequeño en relación al costo total de la planta.

2. OPERACIONES REALIZADAS EN PLANTAS DE TRITURACIÓN Y EQUIPOS UTILIZADOS

Las principales operaciones realizadas en las plantas de trituración son: trituración, separación y transporte de sólidos. Para lograr un rendimiento máximo en una planta de trituración es muy importante hacer una apropiada selección del equipo para cada una de estas operaciones, basada en la cantidad, características del material a ser triturado y del producto deseado. A continuación se describen las principales operaciones.

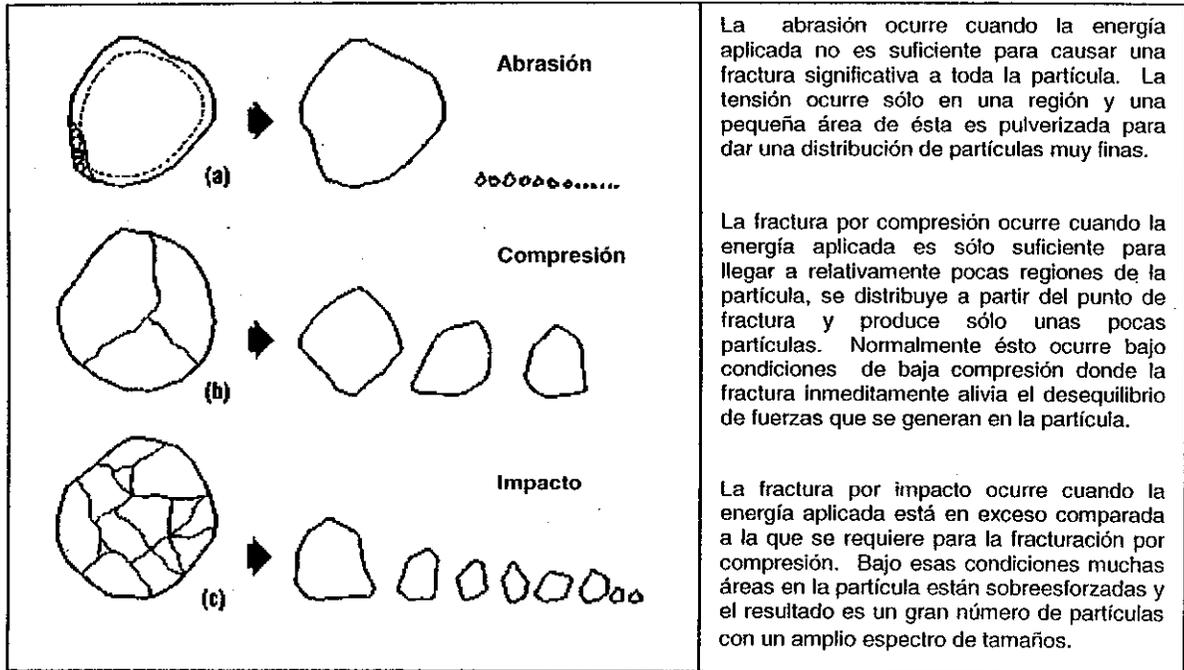
2.1 Operaciones de trituración

Una roca es quebrada o triturada cuando una fuerza es aplicada con suficiente energía para romper las uniones internas o planos débiles que existen en su interior. En esta operación es muy importante el control de esta energía para obtener los productos deseados.

2.1.1 Fuerza y quebradura

La explotación de cantera es la primera aplicación de energía a la roca en la fabricación de un producto comercializable y representa una forma muy eficiente de trituración.

Figura No.4 Mecanismos de abrasión, compresión e impacto para la fracturación de rocas



Fuente: Manual de plantas de trituración. Página 8-14.

Una explosión bien ejecutada transforma una formación rocosa en fragmentos lo suficientemente pequeños para ser aceptados por una planta de procesamiento. Generalmente la mitad de la roca explotada tiene un tamaño menor de 8 pulgadas. Cuando la explosión es deficiente se producen fragmentos demasiado grandes los cuales requerirán un rompimiento secundario. (Ref. 1)

2.1.1.1 Energía requerida

La cantidad de energía aplicada por unidad de masa de roca afectará directamente la reducción producida.

La potencia requerida en cualquier unidad de trituración está dada en función de tres factores:

1. La resistencia del material que va a ser triturado
2. La magnitud de la reducción de tamaño que se llevará a cabo
3. La cantidad de material que será triturado por unidad de tiempo

2 . 1 . 1 . 2 Mecanismo de trituración y tipos de trituradoras

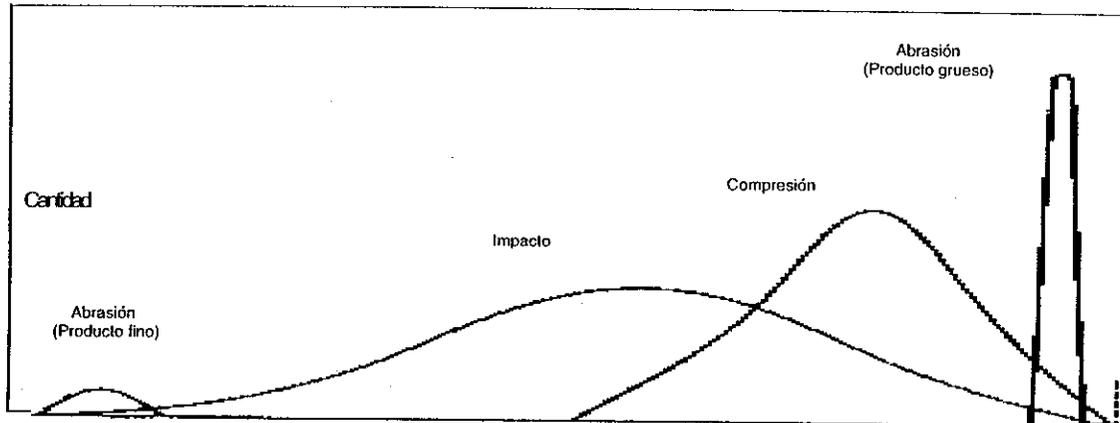
Las partículas se rompen principalmente por tres causas: abrasión, compresión e impacto, existiendo una cuarta pero menos importante, la atrición. En la figura No.4 se muestra como actúa cada forma de rotura.

2 . 1 . 1 . 3 Etapas de trituración

Lograr una alta razón de reducción de tamaño en una sola etapa puede generar un mal control granulométrico de los productos. Debido a ello, se hace necesario controlar el grado de trituración empleando 2 o más etapas, las cuales se alternan con secuencias de tamizado.

Las trituradoras de impacto aplican golpes a altas velocidades causando un alto grado de fracturación por impacto. Las máquinas de tipo compresión de mandíbulas y giratorias aplican su energía de una manera más lenta, produciendo abrasión y compresión mientras que las de tipo cono tienen un ciclo recíprocante de aproximadamente el doble que las trituradoras de mandíbulas y giratorias acentuando la fracturación por compresión e impacto.
(ref.2)

Figura No.5 Representación de los mecanismos de fracturación de partículas y la distribución del tamaño del producto



Fuente: Manual de trituración. Página 8-16.

Para un uso eficiente de la energía es necesario mantener la carga de la trituradora cerca de su capacidad total; ya que al fracturarse las partículas liberan energía, volando en todas direcciones; al estar la máquina llena se aprovecha esta energía cinética para romper otras partículas o para volver a fracturarse ellas mismas.

2.1.2 Equipo de trituración

Los principales tipos de trituradoras son: de mandíbulas, giratorias, de rodillos y de impacto. Las primeras tres son tipos de máquinas por compresión que aplican fuerzas compresivas a las rocas atrapadas entre sus superficies de trituración. Diferencias en el tamaño, la configuración de cámara de trituración, y la velocidad hacen de las trituradoras por compresión apropiadas para diferentes aplicaciones.

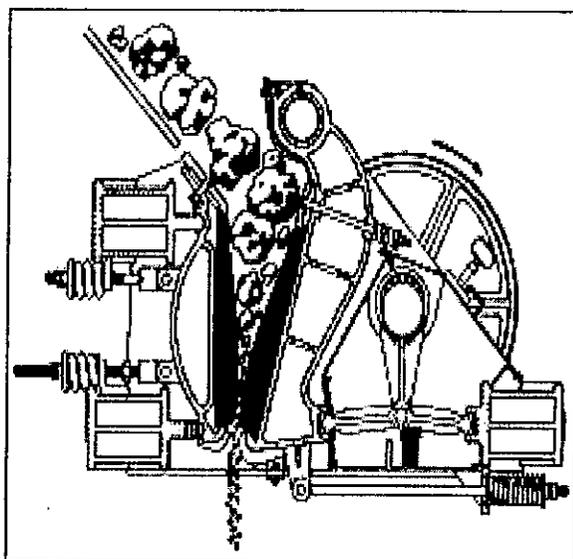
Una característica común de las máquinas por compresión es que el producto debe pasar por una abertura fija pero ajustable antes de ser descargada.

La demanda de potencia, el volumen de piedra procesada y el control del producto son influenciados por la abertura de descarga. En el apéndice A se encuentra recopilada información sobre los distintos tipos de trituradoras.

A continuación se describen las principales características de los principales tipos de trituradoras.

2.1.2.1 Trituradora de mandíbulas

Figura No.6 Esquema general de una trituradora de mandíbulas



En la figura No.6 se muestra un esquema general de una trituradora de mandíbulas. La alimentación se introduce entre dos mandíbulas que forman una V abierta por la parte superior. Una mandíbula, que recibe el nombre de yunque, está situada en posición casi vertical y permanece fija; la otra, que recibe el nombre de oscilante, se mueve alternadamente en un plano vertical y forma un ángulo de 20° a 30° con la mandíbula fija. (Ref. 3)

Fuente: www.crushingplace.com

El movimiento es accionado por una excéntrica, de forma que aplica una gran fuerza de compresión a los trozos situados entre las mandíbulas. Las caras de las mandíbulas son planas o ligeramente combadas y pueden tener muescas en forma de hendiduras.

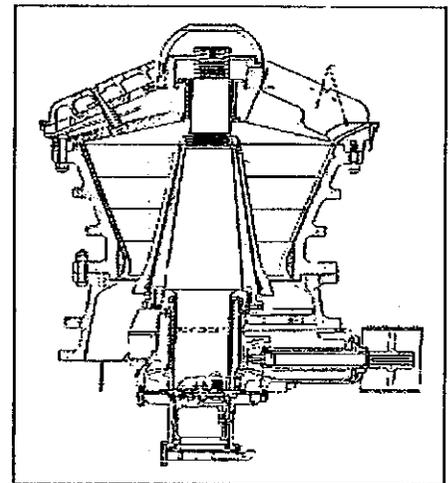
Los trozos grandes atrapados entre las partes superiores de las mandíbulas se rompen, descienden hacia el espacio más estrecho inferior y vuelven a romperse en el siguiente movimiento de cierre de la mandíbula. Las mandíbulas abren y cierran unas 250 a 400 veces por minuto. El mayor movimiento está en el fondo de la V, lo que da lugar a que este tipo de trituradora tenga poca tendencia a obstruirse. (Ref. 4)

2.1.2.2 Trituradoras giratorias

Existen de dos tipos: de movimiento centrado y de hidrocono. En ambas, un cabezal cónico gira en el interior de una carcasa en forma de embudo abierta por su parte superior. Tal como muestra la figura No.7.

El cabezal triturador está acoplado a un eje pivoteado en la parte superior de la máquina. Una excéntrica acciona el extremo inferior del eje, cualquier punto de la periferia de la carcasa se mueve hacia adentro y hacia afuera de la pared estacionaria. Los sólidos atrapados en el espacio en forma de V entre el cabezal y la carcasa se rompen sucesivamente hasta salir por el fondo. El cabezal de trituración rota sobre el eje y gira debido a la fricción con el material que tritura.

Figura No.7 Trituradora giratoria



Fuente: www.crushingplace.com

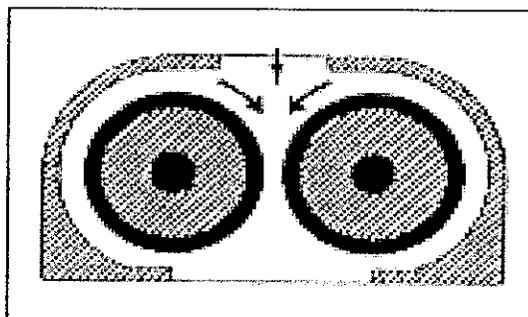
La velocidad típica de un cabezal de trituración es de 125 a 425 rpm. Debido a que alguna de las partes del cabezal de trituración está actuando en todo momento, la descarga de un quebrantador giratorio es continua en vez de intermitente como en el caso de una trituradora de mandíbulas. (Ref. 5)

La carga sobre el motor es casi uniforme, se requiere menos mantenimiento que en una de mandíbulas y la potencia que se requiere por tonelada de material tratado es también menor. Las trituradoras giratorias más grandes tratan hasta 3,500 ton/hora. La capacidad es casi independiente de la resistencia a la compresión del material que tritura. (Ref. 6)

2 . 1 . 2 . 3 Trituradora de rodillos lisos

En este tipo de trituradoras los elementos activos de la trituración son dos rodillos metálicos de superficies lisas, que giran sobre ejes horizontales paralelos, como se puede apreciar en la figura No.8. Las partículas de la alimentación quedan atrapadas entre los rodillos, se rompen por compresión y caen por la parte inferior.

Figura No.8 Esquema general de una trituradora de rodillos lisos



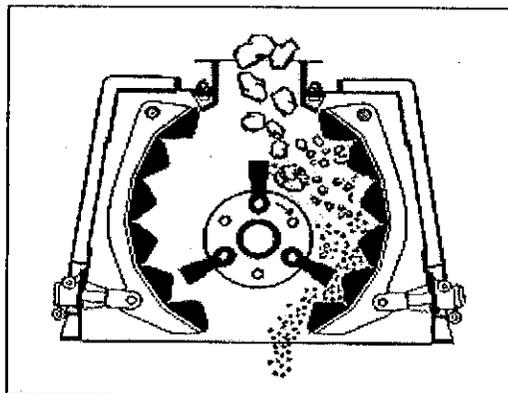
Fuente: www.crushingplace.com

Los dos rodillos giran uno hacia el otro con la misma velocidad. Los rodillos son relativamente estrechos y de gran diámetro de forma que pueden atrapar trozos moderadamente grandes. El tamaño de las partículas del producto depende de la separación entre los rodillos, así como también de la capacidad de una máquina dada. Los rodillos giran a velocidades comprendidas entre 50 y 300 rpm. Las trituradoras de rodillos lisos producen pocos finos y virtualmente no generan tamaños superiores al máximo especificado. Operan más eficazmente cuando han de dar lugar a una reducción de tamaño de 3 o 4 a 1. (Ref. 7)

2 . 1 . 2 . 4 Trituradora de impacto

Estas trituradoras, como la de la figura No.9, aplican fuerzas de impacto a altas velocidades a la roca alimentada. Las partículas aprovechan la energía del golpe inicial para rebotar contra otras partículas y contra las superficies de la máquina y así fragmentarse.

Figura No.9 Esquema general de una trituradora de impacto



Fuente: www.crushingplace.com

Algunas máquinas de impacto utilizan descargas de barras ajustadas o de rejas para favorecer la compresión de las partículas contra las partes rotantes y estacionarias.

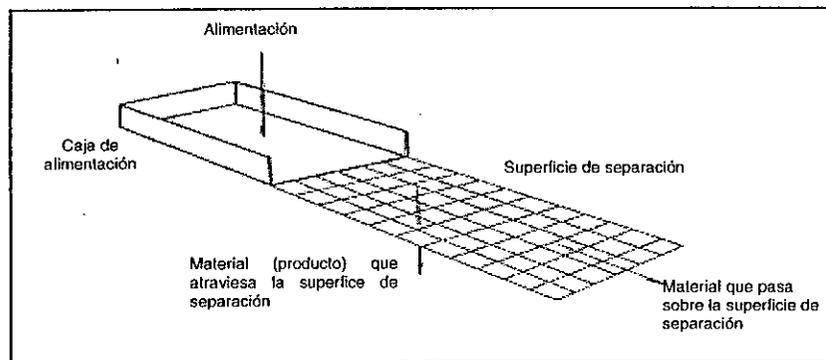
Una característica común de las trituradoras de impacto es que la energía disponible para el impacto varía con el cuadrado de la velocidad rotacional. Las partículas grandes se rompen con mayor rapidez que las pequeñas. (Ref. 8)

Una partícula que entra en la zona de trituración no puede salir sin ser golpeada por los impactores. Se rompe en pedazos, se proyecta contra la placa estacionaria situada dentro de la carcasa rompiéndose en fragmentos más pequeños. Con frecuencia los impactadores se utilizan como máquinas de reducción primaria para rocas y minerales, llegando a tratar hasta 600 ton/h. (Ref. 9)

2.2 Operaciones de tamizado

El tamizado es un método de separación de partículas basado en el tamaño de las mismas. Esta separación se lleva a cabo en la superficie del tamiz que está conformado por aberturas o agujeros de un tamaño dado, estos agujeros pueden ser cuadrados, rectangulares, redondos o acanalados; intermitentes o continuos.

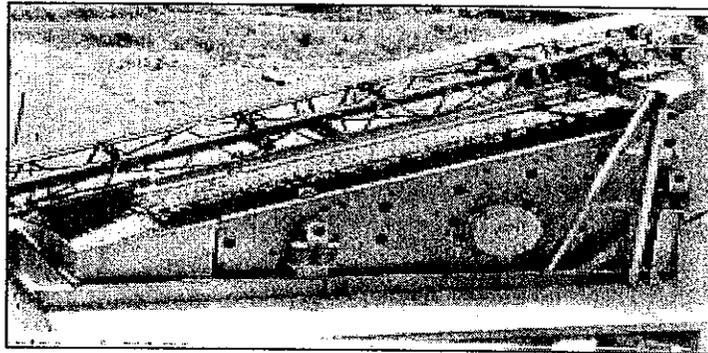
Figura No.10 Separación en la superficie de la zaranda



Fuente: Fábrica de ACO Paulista. Crushing Handbook. Página 5-02

A nivel industrial se utilizan tamices o zarandas compuestas por una superficie de separación soportada por una armazón metálica. Algunas partículas pasan fácilmente a través de las aberturas, pero otras necesitan alguna forma de agitación, como sacudidas, giro o vibración mecánica o eléctrica.

Figura No.11 Zaranda en operación en una planta de agregados minerales



Fuente: Fábrica de ACO Paulista. Crushing handbook. Página 5-35.

Los materiales que van a ser clasificados se alimentan en la superficie de separación de la zaranda mientras ésta está en movimiento. La superficie está comúnmente inclinada, o bien se inclina levemente la línea de acción de la fuerza motriz sobre la vertical, así un componente horizontal debe estar disponible para mover las partículas a través de la superficie, esto permite a cada partícula encontrarse con un mayor número de aberturas y a la vez produce espacio para alimentar más material.

El buen funcionamiento de una zaranda está determinado por la capacidad y la eficiencia. La capacidad depende más del ancho que del largo de la zaranda. Al ser aumentada la capacidad se obtiene una disminución en la eficiencia. Al aumentar el largo de una zaranda existe más probabilidad de que el material atraviese la superficie de separación, esto incrementa la eficiencia pero da como resultado un pequeño incremento en la capacidad. Normalmente una zaranda tiene un largo de 2 a 3 veces su ancho. (Ref. 10)

En el apéndice B se muestran los tipos de mallas más utilizados y sus principales características.

2.3 Operaciones de transporte de sólidos

2.3.1 Alimentadores

Los alimentadores son equipos de transporte de sólidos que en plantas de trituración dosifican material a las trituradoras. La piedra se deja caer directamente de los camiones al alimentador por lo que éstos deben estar fabricados de un material muy resistente al impacto y la abrasión. Existen principalmente dos tipos de alimentadores: los vibratorios y los de flujo continuo.

2.3.1.1 Alimentadores vibratorios

Este tipo de alimentadores, también conocidos como alimentadores oscilatorios, son los más utilizados para la alimentación de trituradoras primarias. Utiliza una placa que oscila y vibra rápidamente moviendo partículas sólidas en la dirección deseada y su elevación está limitada a una inclinación de aproximadamente 5°. Normalmente se acondicionan con cribas, que tienen la función de separar las arcillas o lodo que pueda contener el material suministrado o bien separar la piedra de tamaño menor al setting de la trituradora. (Ref. 11)

2 . 3 . 1 . 2 Alimentadores continuos

El elemento transportador en este equipo es una cadena con rastrillos o paletas sobresalientes, que arrastran sólidos a todo lo largo de la cadena. Estos transportadores son relativamente caros. Pueden diseñarse para seguir trayectorias horizontales o hasta verticales y pueden transportar materiales muy abrasivos. Frecuentemente se les escoge por sus operaciones relativas de baja capacidad en donde la conveniencia justifica un precio más alto.

2 . 3 . 2 Transportadores de bandas

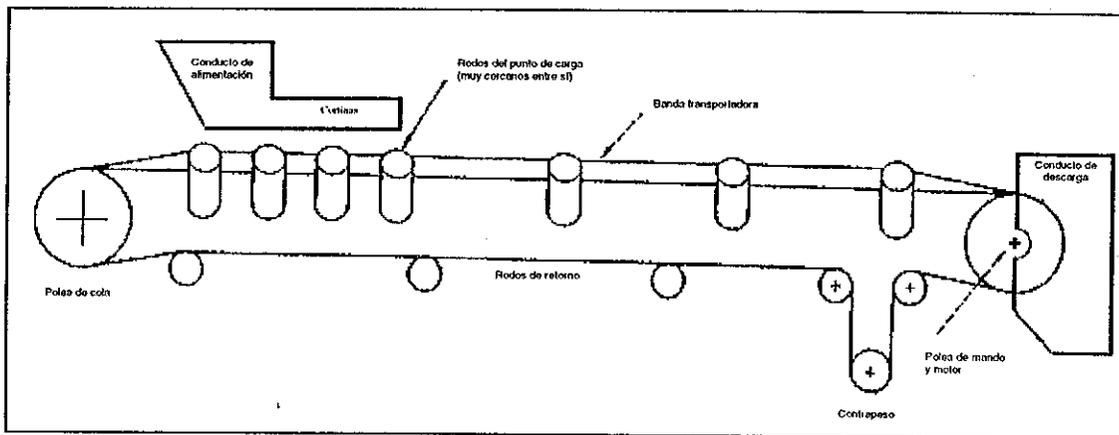
Este tipo de transportador de sólidos es el más utilizado en una planta de fabricación de agregados. El transportador de banda sin fin es el más empleado para transportar materiales horizontalmente o con inclinación hacia arriba o hacia abajo.

Las principales partes de un transportador de bandas son:

- La banda: ésta comprende la superficie de soporte y movimiento en donde el material es transportado.
- Los rodillos: forman el soporte para el movimiento de la banda.
- Las poleas: soportan, mueven la banda y controlan su tensión.

- El impulsor: imparte potencia a una o más poleas para mover la banda y su carga.
- La estructura: ésta soporta y mantiene el alineamiento de los rodillos y poleas, soportan el movimiento de la maquinaria.

Figura No.12 Esquema de las partes de un transportador de banda.



Fuente: Chemical engineering staff. Solids handling. Página 99.

Casi todos los transportadores de bandas utilizados en fábricas de agregados utilizan bandas con cubiertas de hule cuyo interior provee la fuerza necesaria para jalar y soportar la carga.

Los transportadores de banda pueden mover desde unas pocas libras por minuto hasta cientos de toneladas por hora y pueden manejar una amplia variedad de materiales. El ángulo máximo al cual puede operar depende de las características del producto.

Si se conoce el valor pico de tonelaje que el transportador de banda debe manejar, el ancho y la velocidad pueden ser determinados por datos de los fabricantes. La capacidad está determinada por la siguiente ecuación:

$$Tph = \frac{A * \rho * s}{4800} \quad [\text{Ec. 1}]$$

En dónde A = área de sección transversal en pulg²,
 ρ = densidad del sólido en lb/pie³, y
 s = velocidad de la banda en pie/min.

La potencia requerida para los transportadores de bandas depende principalmente de: el tipo de acoplamiento entre la polea y el motor, la tensión y la velocidad de la banda y el tipo de espaciamiento entre los rodillos.

Todas las líneas de la banda se elevan unos cuantos pies sobre el nivel del piso para facilitar su inspección, mantenimiento y limpieza. El material transportado puede ser descargado en varias formas, la manera más simple es dejar pasar el material sobre una polea terminal.

En estos transportadores existen emisiones de polvo principalmente en la alimentación y en la descarga, ésto puede corregirse cercando el área que rodea estos puntos, siendo generoso en cuanto al tamaño de la cerca, ordenándola en secciones fáciles de remover, equipando con puertas de acceso en las cercas e instalando cortinas y zócalos en las aberturas.

SEGUNDA PARTE

**OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA DE
FABRICACIÓN DE AGREGADOS
MINERALES**

3. CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROYECTO

3.1 Comprensión del proceso

El caso estudiado se refiere a dos líneas de producción de agregados minerales, denominadas 1031 y 1032. Estas líneas fueron diseñadas para proveer materia prima a la fábrica de cemento, pero con el paso de los años se acondicionaron para fabricar además agregados minerales.

Originalmente ambas líneas trabajaban de forma individual, pero debido a que la trituradora secundaria de la línea 1031, daba problemas de operación se decidió sacarla del sistema. Se utilizó para ambas líneas la trituradora secundaria de la línea 1032 y se generó, en esta última, un cuello de botella al poder operarse solamente una línea a la vez, lo cual produjo una disminución en la producción. El consumo energético por tonelada de alimentación es de 3.96 kwh en la línea 1031 y 5.25 kwh en la 1032.

3.1.1 Descripción del proceso en las líneas 1031 y 1032

Como se describe en el capítulo anterior, el proceso de producción de agregados minerales conlleva una serie de etapas entre las que se tienen los estudios geológicos, la explotación de cantera, la alimentación de piedra a las líneas de producción y los procesos de trituración, separación por tamaños y transporte de sólidos.

En la tabla No.1 se muestran los equipos utilizados en cada línea de producción. Como puede apreciarse existen dos principales diferencias: la primera es en lo concerniente a la trituración secundaria, mientras en la línea 1031 se lleva a cabo en una trituradora de impacto en la 1032 se utiliza una trituradora de hidrocono. Y la segunda es que en la línea 1032 existe una separación terciaria.

Tabla I. Equipos utilizados en cada etapa del proceso en las líneas de producción 1031 y 1032

Etapa/Línea	1031	1032
Alimentación	Alimentador de flujo continuo	Alimentador de flujo continuo
Trituración primaria	Trituradora de quijadas	Trituradora de quijadas
Separación primaria	Zaranda inclinada vibratoria	Zaranda inclinada vibratoria
Trituración secundaria	Trituradora de impacto	Trituradora de hidrocono
Separación secundaria	Zaranda inclinada vibratoria	Zaranda inclinada vibratoria
Separación terciaria		Zaranda inclinada vibratoria

A continuación se describen los procesos de fabricación en las líneas estudiadas, sin tomar en cuenta la parte de estudios geológicos y de explotación de cantera por carecer de importancia para el presente estudio. En el apéndice G se muestra un diagrama de flujo del proceso en ambas líneas.

3.1.1.1 Proceso de fabricación de la línea 1031

Trituración primaria

En la trituración primaria, la piedra que es explotada en la cantera, es reducida de tamaño por una trituradora de quijadas hasta un tamaño máximo de aproximadamente 10" (254 mm), para luego ser transportada por medio de bandas hacia la zaranda de separación primaria.

Separación primaria

Con el fin de separar los desechos, conformados principalmente por arcillas, el producto de la trituración primaria es conducido por un transportador de banda hacia una zaranda inclinada vibratoria, provista con 2 camas, con mallas de 3" (76.2 mm) y 1" (25.4 mm) en su cama superior e inferior respectivamente. Se obtienen tres productos: el desecho (producto fino); y los otros dos productos, que son piedra mayor a 1"(25.4mm), se conducen por un transportador de banda hacia la trituradora secundaria de la línea 1032.

Trituración secundaria

La etapa de trituración secundaria de esta línea fue diseñada para trabajar con una trituradora de impacto; la cual presentó un gran desgaste en los impactores y se optó por dejarla fuera de operación, se hizo un "by-pass" hacia la trituradora de hidrocono de la línea 1032.

Separación secundaria

El producto de la trituración secundaria regresa a la línea 1031 por medio de una banda que la transporta hacia una zaranda inclinada vibratoria, de 2 camas, con mallas de 1" (25.4 mm) y 3/8" (9.525 mm) en la parte superior e inferior respectivamente. Se obtienen 3 productos: piedra sobremedida, piedrín #56 y piedrín menor que 3/8" (9.525 mm). La piedra sobremedida se recircula hacia el hidrocono, el piedrín #56 se almacena en una tolva de donde se despacha a granel y el piedrín menor que 3/8" (9.525 mm) se conduce por un transportador de banda hacia otra zaranda inclinada vibratoria de 3 camas en donde se lleva a cabo la separación terciaria.

Separación terciaria

Esta zaranda que cuenta con tres camas sólo tiene instalada una, con mallas de 1/4" (6.35 mm). Se obtienen 2 productos: el piedrín #8, que es la parte gruesa y el polvo de piedra que es la fracción que atraviesa la malla de 1/4" (6.35 mm). Ambos productos son conducidos por chifles hacia tolvas para su despacho.

3 . 1 . 1 . 2 Proceso de fabricación de la línea 1032

Trituración primaria y secundaria

El proceso de trituración y separación primaria es análogo al descrito para la línea 1031. La fracción que pasa la malla inferior, de 1" (25.4 mm), se elimina como desecho y el resto se conduce por medio de transportadores de banda hacia la trituradora de hidrocono en donde se produce la trituración secundaria.

Separación secundaria

El producto de la trituración secundaria se puede separar de dos maneras, la primera es por medio del sistema de separación de la línea 1031; y la segunda, que es la forma en que originalmente fue diseñada, es utilizar una zaranda inclinada vibratoria de 2 camas. La última opción trae como consecuencia que de los tres productos que se obtienen sólo uno sea comercial, generalmente es el pedrín #56.

Los otros dos productos obtenidos son piedra sobremedida y polvo de piedra, que es la fracción que atraviesa la malla de 3/8" (9.525 mm). La piedra sobremedida se acumula en patios y luego se reprocessa, para lo cual se transporta por medio de camiones.

3 . 2 Deficiencias del sistema

Los productos obtenidos en las líneas 1031 y 1032 cumplen satisfactoriamente con las normas ASTM para agregados minerales. Con la maquinaria que se posee actualmente es posible aumentar la producción para lo cual deben hacerse algunos cambios. Se determinó que el proceso presenta las siguientes deficiencias:

3 . 2 . 1 Alimentación

Es necesario que la piedra que se alimenta a la trituradora de quijadas sea bien seleccionada para evitar alimentarla con piedras extremadamente grandes que van a atorarse, produciendo tiempos muertos. Se llegan a tener tiempos muertos de hasta 2 horas, por este tipo de problemas, para desatorar una sola piedra, lo cual repercute en que se dejen de triturar hasta 250 toneladas en un turno.

3 . 2 . 2 Banda 11-211-DP1. Salida de la trituradora de quijadas

Cuando el material está muy húmedo la arcilla que posee se adhiere al hule de la banda, luego se adhiere a los rodos o bien cae en el área de trabajo; por lo cual se forman grandes volcanes de desecho y forzan el motor de la banda. Además una gran cantidad de piedra cae de la banda y se acumula en la parte baja de ésta, produciendo muchas veces que el motor de la banda se dispare por lo cual se debe limpiar el área y ésto trae como consecuencia que se produzcan tiempos muertos.

3.2.3 Zaranda 11-211-DP1. Separación primaria línea 1031

Cuando aumenta la carga que llega a esta zaranda, mucha piedra se acumula en la parte superior y cae por los laterales; según datos de producción en el último año se han llegado a procesar hasta un máximo de 100 ton/h y un promedio de 75 ton/h. El sistema de chifles que sale de esta zaranda es muy deficiente, produce atoramientos y es recomendable darle un nuevo acondicionamiento para evitar los tiempos muertos que en esta área se producen.

3.2.4 Trituradora de hidrocono

Esta trituradora tiene una gran capacidad y según especificaciones técnicas debe operarse con un mínimo de abertura de 1" (25.4 mm). Lo cual, cuando es época lluviosa y el material contiene mucha arcilla es perjudicial ya que limita su capacidad al formarse una capa de lodo que actúa como colchón y a la vez tapa la trituradora.

3.2.5 Banda 11-290-CS4. Banda que une las líneas 1031 y 1032

En esta banda también son necesarias cortinas laterales para evitar que mucha piedra caiga acumulándose en volcanes. Su inclinación es de 24°, 6° más que el máximo recomendado para transportar piedra caliza.

3.2.6 Zaranda 11-290-CV1. Separación 2°

Esta zaranda desaprovecha parte de su área de tamizado debido a una deficiente alimentación. Cuando la carga llega en el orden de 150-175 ton/h entonces se llena demasiado y disminuye su eficiencia teniendo mucha recirculación. Aunque el principal problema se encuentra en la malla inferior que necesita una mayor área, para producir una buena separación que la malla superior. Debido a esto en los productos sale un porcentaje más alto de lo esperado de pedrín de 1".

3.2.7 Zaranda 11-290-CV2. Tamizado 3°

Esta zaranda es muy pequeña, 8 x 4 pies (2.44 x 1.22 m), lo cual hace que no se puedan manejar cargas muy altas. Aquí se separa el pedrín #8 del polvo de piedra; su capacidad máxima en las condiciones actuales es de 80 ton/h. Solamente se usa 1 de sus 3 camas.

3.2.8 Tolvas

Estas tolvas en las cuales se almacenan los productos finales, presentan la dificultad de tener que utilizar un camión extra para vaciarlas ya que tienen una capacidad muy limitada.

3.3 Enunciado del problema

Después de analizar la información disponible se determinó necesario resolver los siguientes problemas:

3.3.1 Optimización del sistema actual

3.3.1.1 Trituración primaria de la línea 1031

El material que sale de la trituradora de quijadas de la línea 1031 es muy grande, llevando piedras de hasta 10" (254 mm) en su parte más desgastada, lo cual provoca que se atore en los conductos y por lo tanto se producen tiempos muertos en las respectivas desatoradas.

3.3.1.2 Trituración secundaria de la línea 1031

La línea 1031 posee una trituradora de impacto que actualmente no se utiliza, ésta puede utilizarse en el caso de que se alimente el sistema por las dos trituradoras primarias; de esta manera se trabaja la trituradora de hidrocono a una menor capacidad.

3 . 3 . 1 . 3 Conductos y bandas de la línea 1031

Es necesario reacondicionar el sistema de conductos de la zaranda de separación primaria, ya que éstos se tapan, provocando pérdidas de tiempo para limpiarlos y como consecuencia disminuye la producción. También es necesario ajustar los raspadores y faldones de todas las fajas para que no se formen volcanes de material en el área de trabajo.

3 . 3 . 1 . 4 Falta de recirculación en la línea 1032

En la línea 1032 no se cuenta con un sistema de recirculación que envíe directamente el material superior a 1" hacia la trituradora de hidrocono. Actualmente se acumula en pilas como piedra sobremedida para ser después reprocesada o bien se envía hacia las etapas de separación secundaria y terciaria de la línea 1031 para aprovechar su sistema de recirculación.

3 . 3 . 1 . 5 Falta de separación terciaria en la línea 1032

En la línea 1032 se tiene una sola zaranda para obtener los productos finales. Cuenta con 2 camas, lo cual provoca que sólo se obtengan 3 productos: el mayor, que es piedra sobremedida; el mediano, que generalmente es pedrín #56 es el único al cual se le puede controlar la granulometría y el menor, que es polvo de piedra, se ve limitado por el producto mediano y posee una buena fracción de pedrín #8 cuando se fabrica el pedrín #56.

Actualmente, debido a que solamente opera una línea a la vez, este problema se elimina enviando el material a las etapas de separación secundaria y terciaria de la línea 1031.

3 . 3 . 1 . 6 Alimentación a las zarandas en las líneas 1031 y 1032

La alimentación a las zarandas en ambas líneas es deficiente, no se cuenta con un conducto adecuado lo que provoca la ruptura de las mallas que reciben el material y un deficiente aprovechamiento de la superficie de separación de las zarandas.

3 . 3 . 1 . 7 Almacenaje de los productos

Actualmente los productos se acumulan en tolvas pero éstas tienen una capacidad muy limitada y se necesita un camión trabajando constantemente para vaciarlas.

3 . 3 . 2 Eliminación de los cuellos de botella en los equipos menores

El sistema actual presenta una serie de cuellos de botella en los equipos menores como conductos, zarandas y bandas; el principal de éstos se encuentra en las zarandas de separación secundaria y terciaria, por lo tanto se desaprovecha la capacidad del hidrocono y de las trituradoras de quijadas.

3.4 Acciones correctivas

Para solucionar cada uno de los problemas definidos en la sección anterior se desarrollaron las siguientes actividades

3.4.1 Optimización del sistema actual

1. Fijar la abertura de las trituradoras de quijadas de ambas líneas en 5 1/2".
2. Reacondicionar el sistema de conductos de la línea 1031 evitando que se atore el material y así evitar tiempos muertos.
3. Ajustar los raspadores y los faldones de las bandas para evitar que resbale mucho material y se acumule en el área de trabajo.
4. Construir conductos adecuados, que disminuyan el ímpetu de las partículas en la alimentación a las zarandas y el desgaste de su malla superior y a la vez que aprovechen al máximo su área de separación.

3.4.2. Centralización del cuello de botella en la trituradora de hidrocono

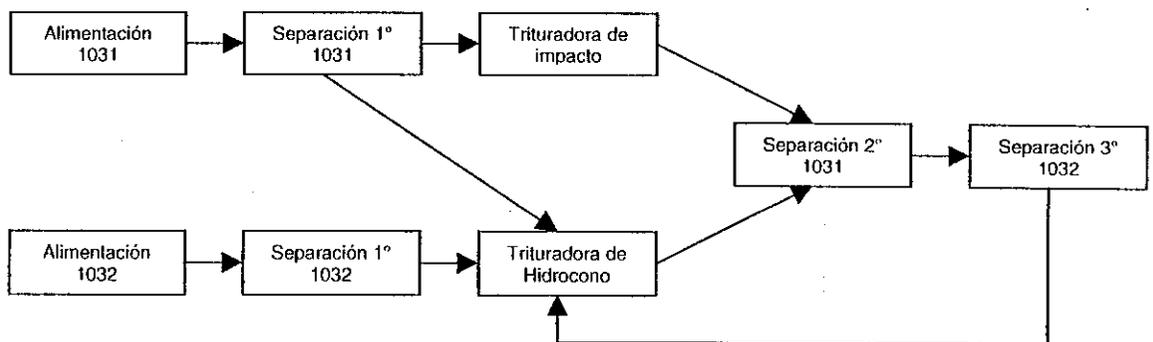
1. Habilitar la trituradora de impacto de la línea 1031.

2. Operar las dos líneas de la manera mostrada en la figura No.12.

2.1 Enviar hacia la trituradora de impacto la parte comprendida entre 1" (25.4 mm) y 4" (101.6 mm), proveniente de la separación primaria de la línea 1031. Y la parte > 4" hacia el hidrocono.

2.2 Enviar el producto de la trituradora de hidrocono, en la línea 1032, hacia el sistema de separación de la línea 1031, aprovechando su sistema de recirculación.

Figura No.13. Operación del sistema para centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono.



3. Cambiar las zarandas de separación secundaria y terciaria por unas de 8 x 20 pies, ambas de 2 camas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Implementación de las acciones correctivas

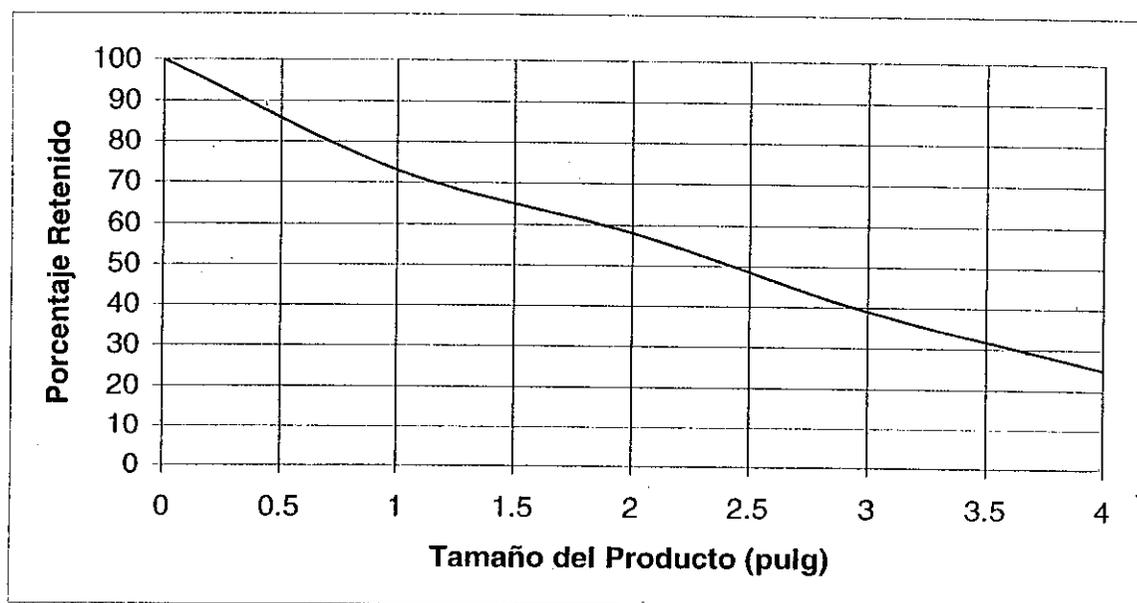
4.1.1 Optimización del sistema actual

Después de implementar las acciones correctivas descritas en el capítulo anterior se obtuvo un aumento en la producción del 73% y se disminuyeron los costos de fabricación en un 42% (apéndice E, tabla VII). Para lograr dicho aumento se trabajaron las líneas en estudio de manera individual y se obtuvo una productividad promedio de 130 ton/h en cada una.

4.1.1.1. Análisis de la etapa de trituración primaria

Se cerró la abertura de las trituradoras de quijadas a 5 ½", con lo cual se logró disminuir el tamaño del producto de esta etapa y por lo tanto se disminuyeron los problemas de atoramiento en los chifles de la descarga de la zaranda de separación primaria, se obtuvieron los resultados mostrados en la gráfica No.1, la cual muestra la granulometría de dicho material.

Gráfica No.1. Granulometría del producto de la trituración primaria



Como puede observarse en la gráfica No.1, del material que sale de la trituradora de quijadas en la línea 1031, un 25% es de tamaño menor a 1" (25.4 mm) lo cual sale del sistema como desecho, mientras que el 35% se encuentra entre 3" (76.2 mm) y 1" (25.4 mm); y el 40% es piedra mayor a 3" (76.2 mm).

4.1.1.2 Análisis del producto obtenido en la trituración secundaria

Se realizaron diferentes muestreos y se obtuvieron los resultados tabulados en la tabla No.2, en cuanto a la granulometría del producto de la trituradora de hidrocono.

Tabla II. Granulometría del producto de la trituradora de hidrocono

Tamiz (pulg)	3	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	8	100
% Retenido	100	96	92	80	68	52	44	31	30	22	14

4.1.1.2 Distribución de los productos en la alimentación y como productos finales

Basados en los resultados expuestos en la tabla No.2 se obtienen los porcentajes que se tabulan en la tabla No.3, para capacidades del sistema de 75 ton/h, valor al cual se obtiene una óptima separación; y de 175 ton/h, que es el valor máximo de capacidad al cual se trabaja el sistema.

Tabla III. Distribución de los productos en la alimentación y como productos finales.

Producto	Alimentación a	Productos	Productos
	separación 2° (%)	finales 75-80 ton/h (%)	Finales 175 ton/h (%)
Piedra sobremedida >1"	20		
Piedrín #56	36	45	60
Piedrín #8	13	16	15
Polvo de piedra	31	39	25

En el sistema actual, debido al tamaño de las zarandas de separación primaria, secundaria y terciaria es posible procesar únicamente de 76 a 80 ton/h para obtener una eficiencia en la separación entre el 90 y 95%, aunque la capacidad de producción se puede incrementar hasta 175 ton/h cuando el material es seco; obteniendo, sino una separación óptima, sí un producto que cumple con las normas de calidad establecidas.

Al incrementar la capacidad hasta producir 175 ton/h no existe una óptima separación y se produce un aumento en el porcentaje de pedrín #56 que de un 45% se ve incrementado hasta un valor de 60% con la consiguiente disminución del pedrín #8 y el polvo de piedra.

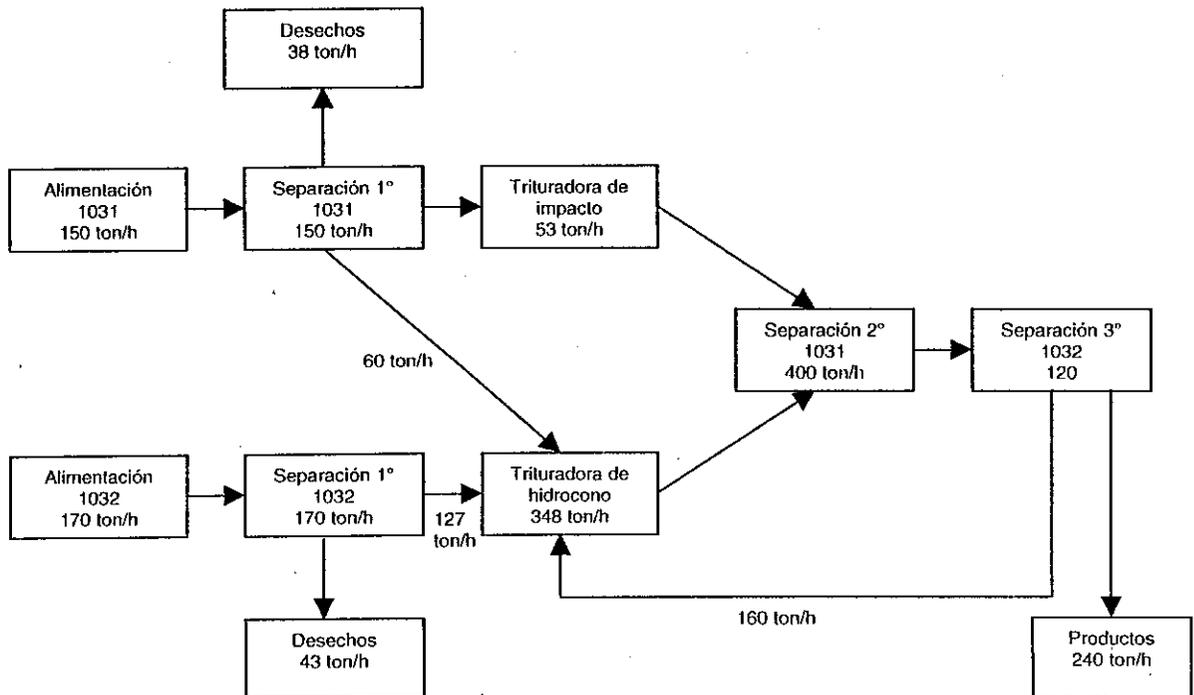
4.1.2 Centralización del cuello de botella en la trituradora de hidrocono

Después de poner en funcionamiento la trituradora de impacto de la línea 1031, se observó que ésta puede trabajar de buena manera con una alimentación de 53 ton/h, lo cual equivale al 35% de la alimentación de la línea 1031, que se obtiene al utilizar en la zaranda de separación primaria mallas de 3" en la cama superior y de 1" en la cama inferior.

La trituradora de hidrocono, según datos especificados por el fabricante, puede procesar hasta 350 ton/h con una abertura de 1". Esto se consigue alimentando el sistema con 150 ton/h por la 1031 y 170 ton/h por la 1032. El 25% del total alimentado sale del sistema como desecho, el 35% de la alimentación de la línea 1031 se procesa por la trituradora de impacto y el resto se procesa por la trituradora de hidrocono junto con la recirculación, que para este tipo de hidrocono es del 40%. De esta manera se logra mantener el hidrocono a su capacidad máxima recomendada.

La cantidad de material que llega a la zaranda de separación secundaria, es de 400 ton/h, y si se toma en cuenta que las zarandas de separación secundaria y terciaria, con las que se cuenta actualmente, sólo permiten procesar hasta 75 ton/h de una manera eficiente, entonces se determina que es necesario adquirir otras zarandas, las cuales deberán tener un tamaño de 8 x 20 pies.

Figura No.14. Balance de masa del sistema al centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono.



Al trabajar el sistema como se describió anteriormente se espera obtener un aumento en la productividad del 325% comparado con el sistema actual y se disminuyen los costos de fabricación hasta en un 64% (apéndice E, tabla VII).

CONCLUSIONES

1. Los actuales cuellos de botella en la fabricación de agregados minerales de las líneas de trituración 1031 y 1032 de la empresa Horcalsa son las zarandas de separación secundaria y terciaria, las cuales permiten procesar 75 ton/h, trabajando con un 95% de eficiencia.
2. Las condiciones actuales del sistema permiten procesar en promedio 130 ton/h obteniendo un producto comercializable que cumple con los estándares de calidad.
3. Al establecer el cuello de botella en la trituradora de hidrocono es posible procesar un máximo de 320 ton/h.
4. Para un aumento de la producción del 73% (130 ton/h) se determinó una disminución del 42% en el consumo de energía por tonelada de alimentación.

RECOMENDACIONES

Aumento de la producción

1. Cambiar las zarandas de separación secundaria y terciaria actuales por unas de 8 x 20 pies, ambas de dos camas.
2. Instalar fajas para acumular los productos en pilas y no en tolvas ya que éstas tienen una capacidad muy limitada y necesitan un camión para descargarlas.

Reducción de tiempos muertos

1. Seleccionar el material que se va a alimentar para que no se atore en la trituradora de quijadas.
2. Cerciorarse de que los conductos o chifles, tengan por lo menos 45° de inclinación (ángulo de reposo de caliza de tamaño menor a 3/8") que sean rectos y amplios y en caso de no poder ser así instalar fajas de más de 30" para conducir el material.

REFERENCIAS

1. Manual de plantas de trituración. Página 8-14.
2. Ibid., p. 8-15
3. McCABE, Warren L. **Operaciones básicas de la ingeniería química** (España: Editorial Reverté, 1975), pág. 902.
4. Ibid., p. 903.
5. Loc. cit.
6. Loc. cit.
7. McCabe, op. cit., p.905.
8. McCabe, op. cit., p.907.

9. Loc. cit.

10. Manual, op. cit., p.8-30.

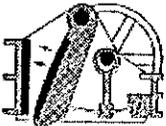
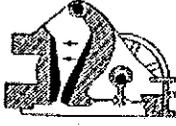
11. Manual, op. cit, p. 8-35

BIBLIOGRAFÍA

1. Perry, Robert H. et. Al. **Chemical Engineer's handbook**. Quinta Edición. Japón: Editorial McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 1973.
2. Fábrica de ACO Paulista. **Crushing handbook**. Segunda edición en inglés. Brasil; s.a., 1986
3. Chemical engineering staff. **Solids Handling**. Estados Unidos de Norteamérica: McGraw-Hill. 1981.
4. Ulrich, G.D. **Diseño y economía en los Procesos de Ingeniería Química**. México: McGraw-Hill. 1992.

APÉNDICES

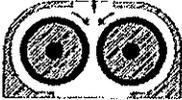
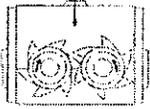
APÉNDICE A. TIPOS DE TRITURADORAS

Tipo		Ilustración	Razón de reducción	Características y aplicaciones
Doble palanca	Blake		Promedio 7:1 Rango 4:1 a 9:1	Primera trituradora de mandíbulas, patentada en 1858 por Eli Whitney Blake. Sus ruedas de alto almacenaje de energía, su gran ventaja mecánica y el movimiento pivote de la quijada hacia de este diseño el adecuado para trituración primaria de rocas duras y abrasivas. Su velocidad es medianamente baja, pero su gran golpeo en la descarga y su ángulo entre quijadas conservador produce buena capacidad. Normalmente se mide por su abertura de entrada (OSS).
	Pivote superior		Promedio 7:1 Rango 4:1 a 9:1	Similar al tipo Blake, pero con una quijada oscilante localizada sobre la línea central de la cámara de trituración. Crea más golpeo en la abertura de alimentación y un movimiento más perpendicular a la quijada estacionaria. Una velocidad mayor con menor golpeo produce una capacidad similar al tipo Blake. Puede requerir baja potencia debido a su actividad. Los últimos diseños ubican los brazos superiores de la quijada por afuera de la cámara para incrementar la abertura de alimentación vertical.
Palanca Simple	Eccéntrico superior		Promedio 7:1 Rango 4:1 a 9:1	La quijada oscilatoria es sostenida en la parte superior del eje del propulsor. El eje excéntrico imparte un movimiento circular a la quijada en la entrada de la alimentación, produciendo un movimiento elíptico casi horizontal en la descarga por el pivoteamiento de la palanca. Son mejores para rocas poco abrasivas y más friables. Su capacidad se mide por su abertura de descarga menor (CSS).

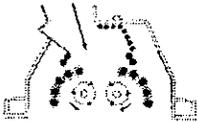
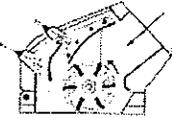
Principales tipos de trituradoras de mandíbulas, sus características y aplicaciones

Tipo		Ilustración	Razón de reducción	Características y aplicaciones
True	Primaria y secundaria		Promedio 8:1 Rango 3:1 a 10:1 Promedio 4:1	Primaria: Caracterizada por superficies de trituración cónicas divergentes formadas por un manto giratorio dentro de un tazón profundo, esto produce una acción de trituración continua para trituradoras primarias o secundarias de gran capacidad para rocas duras y abrasivas. Los camiones pueden descargar directamente en la cavidad. Y el producto es más cúbico por la abertura de descarga. La capacidad es usualmente medida por el OSS (open side setting) Secundaria: Usadas para reducir material de 8" o 12" a material abajo de 3" o 4".
	Cono	Standard		Rango 4:1 a 6:1
Atrición			Rango 2:1 a 5:1	Es utilizada en la fabricación de productos finos (< 1/4"). Un cono poco profundo con un ángulo de inclinación de 25° sobre la horizontal da como resultado un producto cúbico. No es apropiado para materiales pegajosos. Usualmente se montan en sistemas de circuito cerrado. La capacidad del producto final puede no estar referido a 1 CSS (close side setting) de la trituradora.

Principales tipos de trituradoras Giratorias, sus características y aplicaciones. (Fuente: Manual de Trituración. Páginas 8-14 - 8-15)

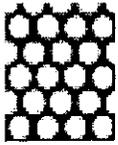
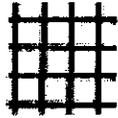
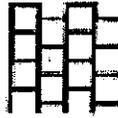
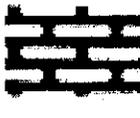
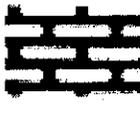
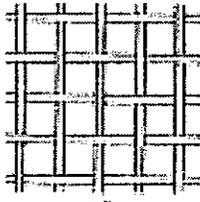
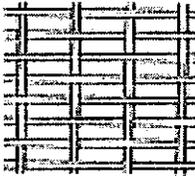
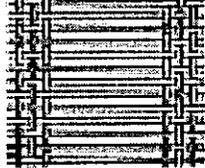
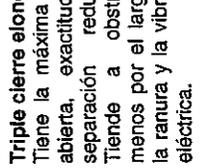
Tipo		Ilustración	Razón de reducción	Características y aplicaciones
Compresión	Rodo simple		Máxima 7:1	Debido a que la alimentación es arrastrada contra una chaqueta, es económica solamente para materiales de baja abrasión. Puede manejar materiales pegajosos.
	Doble rodo		Máxima 3:1	Con una relativamente baja razón de reducción, produce una alta proporción de producto cercano al setting con un mínimo de finos. Puede manejar materiales pegajosos.
Corte	Doble eje		Máxima 5:1	Tiene dos rodos con picos similares al rompedor de alimentación y es usado en aplicaciones similares. Sus ventajas sobre el rompedor de alimentación incluyen la ausencia de una cadena de arrastre y la habilidad de procesar material por debajo del tamaño del setting a una alta razón de flujo.

Principales tipos de trituradoras de Rodos, sus características y aplicaciones

Tipo		Ilustración	Razón de reducción	Características y aplicaciones
Primaria de Eje Horizontal	Rotor simple		De 15:1	Rompe mayormente por impacto, dando una alta tasa de reducción y un producto cúbico. La razón de reducción puede incrementarse con mayores velocidades y/o aberturas menores pero a costa de un mayor desgaste. El uso económico está limitado a materiales de poca abrasión. Aconsejable para materiales húmedos y/o materiales moderadamente pegajosos.
	Doble rotor		De 15:1	Similar al tipo de rotor simple, puede producir una mayor proporción de finos.
	Andreas		De 15:1	La geometría de los Aprons da una alta proporción de trituración por impacto, lo cual da como resultado un menor costo por desgaste para una alimentación dada comparada con otras trituradoras de impacto. El setting de abertura de los aprons son más fáciles de cambiar que otras trituradoras de impacto, lo cual permite un mejor control de la razón de reducción.

Principales tipos de trituradoras de Impacto, sus características y aplicaciones. (Fuente: Manual de trituración. Páginas 8-16 - 8-17)

APÉNDICE B. TIPOS DE ABERTURA DE LAS MALLAS EN LAS ZARANDAS

PLATO: Aberturas (indicación de la dirección del flujo)					
Redonda, escalonada		Hexagonal, escalonada		Cuadrado, Continuo	
		Cuadrado, escalonado		Ranura, escalonada al final	
		Ranura, escalonada al lado		Ranura, continua	
MESH: Aberturas (indicación de la dirección usual del flujo)					
	Cuadrada				
<p>Es el tipo de mesh más utilizado, produciendo mejores separaciones. Es más apropiado para partículas de forma regular.</p>	<p>Rectangular Aumenta la cantidad de material que pasa debido a un aumento en el % del área abierta. Disminuye la exactitud en la separación.</p>	<p>Triple cierre elongado Tiene la máxima área abierta, exactitud de separación reducida. Tiende a obstruirse menos por el largo de la ranura y la vibración eléctrica.</p>			
MESH: Tipo de rizado					
	Portavinoes		Doble rizo		Rizo cerrado
<p>Da mayor libertad de flujo en la superficie. Minimiza la obstrucción y la rotura del material. Baja eficiencia.</p>	<p>Más usada. De construcción rígida. Incrementa la razón de separación. Da buen tamaño con pequeñas aberturas, o un % de abertura corto</p>	<p>Mesh firme para un mayor % de área abierta, especialmente para zarandas vibratorias..</p>			
<p>Da mayor libertad de flujo en la superficie. Minimiza la obstrucción y la rotura del material. Baja eficiencia.</p>	<p>Más usada. De construcción rígida. Incrementa la razón de separación. Da buen tamaño con pequeñas aberturas, o un % de abertura corto</p>	<p>Mesh firme para un mayor % de área abierta, especialmente para zarandas vibratorias..</p>	<p>Soldadura cada tercera o quinto rizo para dar un mesh más rígido con un gran % de área abierta. No recomendado para trabajo pesado.</p>		

Fuente: Manual de trituración. Página 8-26.

APÉNDICE C. TIPOS DE PLANTAS DE TRITURACIÓN

Cientos de plantas proveen agregados minerales a industrias cementeras, mineras y de construcción de casas y carreteras. Se puede hacer una clasificación de los tipos de plantas que existen: estacionarias, semi-portátiles, portátiles. Las aplicaciones de cada una depende principalmente de las expectativas de permanencia de la planta en el lugar de trabajo, del tiempo disponible para el montaje y de la disponibilidad de mano de obra local.

Plantas estacionarias

Este tipo de plantas es utilizada en empresas cuya localización es definitiva, tales como canteras, minas y plantas de cemento.

Plantas semi-portátiles

Estas son simples, rápidas y económicas en cuanto a su ensamblaje, su requerimiento de obra civil, tiempo de ensamblaje, distribución de máquinas y ajustes de conductos. Algunas de estas plantas son utilizadas para diques de contención en hidroeléctricas, canteras, construcción de carreteras, etc.

Plantas portátiles

Las plantas portátiles son especialmente recomendadas para empresas que requieren frecuentes cambios de sitio y un mínimo tiempo de ensamblaje. Evitan totalmente todas las inconveniencias y costos de ensamblajes sucesivos, desensamblajes y transporte. Son utilizadas comúnmente en mantenimiento de carreteras y sondeos geológicos.

APÉNDICE D. CÁLCULO DE MUESTRA

D.1 Cálculo de la capacidad de una zaranda

El área de separación esta dada por:

$$A = \frac{TxP}{CxMxKxQn} \quad [\text{Ec. 2}]$$

En donde:

A = Superficie de separación requerida (m²)

T = Velocidad de alimentación (m³/h)

C = Factor de capacidad

M = Factor del material retenido (En función de la abertura de la malla)

K = Factor relacionado a la cantidad de material en la alimentación más pequeño que la mitad de la abertura de la zaranda

Qn = Factor de corrección: Q₁ x Q₂ x Q₃ x Q₄ x Q₅ x Q₆ (Tabla A-02)

P = P puede tomar valores entre 1 y 1.4; siendo una función del conocimiento y confianza que se tenga del material que se va a separar.

Los valores de los factores utilizados tanto para el área de una zaranda como para el ancho de la misma se encuentran en el apéndice H.

El ancho de la zaranda está dado por:

$$W = \frac{100 \times T_f}{6 \times S \times D} + 0.15 \quad [\text{Ec. 3}]$$

En donde:

Tf = Cantidad del material en la descarga (m³/h)

S = Velocidad de viaje del material (depende de la zaranda y las características del material) (Tabla A-01)

W = Ancho nominal de la zaranda (m)

D = Espesor de la cama en la descarga (mm) (Tabla D-01)

Una regla práctica para determinar el ancho de la zaranda es la limitación del espesor de la cama a una descarga dada según el material, de acuerdo con la tabla siguiente:

Tabla IV
Relación práctica para determinar el espesor máximo de la cama de una zaranda

Densidad Ton/m ³	Espesor máximo de la cama
> 1.6	4 x a
1.6 – 0.8	3 x a
< 0.8	2.5 x a

a = tamaño nominal de abertura de la zaranda.

D.2 Cálculo del aumento de la producción después de la implementación de las acciones correctivas

Optimización del sistema actual

Productividad inicial PI = 75 ton/h

Productividad final PF = 130 ton/h

Aumento de la producción

$$P = \frac{PI}{PF} \quad [\text{Ec. 4}]$$

$$P = \frac{130 * 100}{75}$$

$$P = 173\% \Rightarrow 73\%$$

Centralización del cuello de botella en la trituradora de hidrocono

Utilizando el mismo método para calcular el incremento de la producción al centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono, con una productividad final de 320 ton/h, se obtiene un aumento de la producción del 325%.

D.3 Balance de masa del sistema de trituración de las líneas 1031 y 1032

Alimentación línea 1031 $F_{1031} = 150 \text{ ton/h}$

Alimentación línea 1032 $F_{1032} = 170 \text{ ton/h}$

Alimentación total al sistema $F_{\text{Total}} = 320 \text{ ton/h}$

Cantidad de material menor que 1" (25%) = 80 ton/h

Cantidad de material que alimenta a la
trituradora de martillos (35% F_{1031}) = 53 ton/h

Cantidad de material que alimenta a la
trituradora de hidrocono

75% F_{1032} = 127.5 ton/h

40% F_{1031} = 60 ton/h

40% Recirculación = 160 ton/h

Total = 400 ton/h

Cantidad de productos obtenidos en
la separación 2° y 3° (60%) = 320 ton/h

APÉNDICE E. DATOS CALCULADOS

Tabla V Análisis del sistema actual de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032.

Tabla VI Análisis del sistema de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032, centralizando el cuello de botella en la trituradora de hidrocono (Alimentación de 320 ton/h).

Tabla VII Análisis del consumo energético por tonelada de alimentación en el sistema actual, con un aumento de la producción del 73% y del 325%.

Tabla VI. Análisis del sistema de clasificación de las líneas de trituración 1031 y 1032, centralizando el cuello de botella en la trituradora de hidrocono (320 ton/h).

ZARANDA 11-211-0P1		ZARANDA 11-290-CV1		ZARANDA 11-290-CV1	
CAMA SUPERIOR		CAMA SUPERIOR		CAMA SUPERIOR	
Largo	20 pies	Largo	20 pies	Largo	20 pies
Ancho	8 pies	Ancho	8 pies	Ancho	8 pies
Área	160 pies ²	Área	160 pies ²	Área	160 pies ²
F	320 ton/h	F	400 ton/h	F	100 ton/h
T	213 ton/h	T	267 ton/h	T	86 ton/h
P	1.4 m/h	P	1.4 m/h	P	1.4 m/h
C	35 m/h	C	1.35 m/h	C	19 m/h
M	1.1 m/h	M	1.99 m/h	M	1 m/h
K	1.2 m/h	K	0.95 m/h	K	1.1 m/h
Humedad	<3%	Humedad	<3%	Humedad	<3%
O1	3-6%	O1	3-6%	O1	3-6%
O2	1	O2	1	O2	1
O3	1	O3	1	O3	1
O4	0.85	O4	0.75	O4	0.85
O5	0.9	O5	0.9	O5	0.9
O6	1.35	O6	1.25	O6	1.1
O	1.22	O	1.13	O	0.80
Área	3.99	Área	10.85	Área	6.43
	36		117		69
	43		137		81
	49		156		92
	49		156		92
Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario	
Tamaño	3 Pulg	Tamaño	0.375 pulg	Tamaño	0.375 pulg
D	228.6 mm	D	76.2 mm	D	20 mm
T	95 m/h	T	107 m/h	T	20 m/h
S	39 m/min	S	39 m/min	S	38 m/min
Ancho	0.31 m	Ancho	0.76 m	Ancho	0.46 m
	3.4 pies		9.2 pies		4.9 pies
Largo	10.8	Largo	14.2	Largo	14
	12.7		16.7		17
	14.4		18.9		19
CAMA INFERIOR		CAMA INFERIOR		CAMA INFERIOR	
Largo	20 pies	Largo	20 pies	Largo	20 pies
Ancho	8 pies	Ancho	8 pies	Ancho	8 pies
Área	160 pies ²	Área	160 pies ²	Área	160 pies ²
F	192 ton/h	F	240 ton/h	F	100 ton/h
T	128 ton/h	T	160 ton/h	T	67 ton/h
P	1.4 m/h	P	1.4 m/h	P	1.4 m/h
C	0.9 m/h	C	23.5 m/h	C	18 m/h
M	1.12 m/h	M	1.12 m/h	M	1.08 m/h
K	1.1 m/h	K	0.8 m/h	K	1 m/h
Humedad	<3%	Humedad	<3%	Humedad	<3%
O1	3-6%	O1	3-6%	O1	3-6%
O2	1	O2	1	O2	1
O3	1	O3	1	O3	1
O4	0.85	O4	0.75	O4	0.85
O5	0.9	O5	0.8	O5	0.8
O6	1.15	O6	1.1	O6	0.9
O	0.92	O	0.75	O	0.72
Área	4.79	Área	12.09	Área	7.63
	52		130		82
	61		153		97
	69		174		108
Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario	
Tamaño	0.5 pulg	Tamaño	0.5 pulg	Tamaño	0.25
D	76.2 mm	D	38 mm	D	19 mm
T	70 m/h	T	70 m/h	T	19 m/h
S	38 m/min	S	38 m/min	S	38 m/min
Ancho	0.56 m	Ancho	1.00 m	Ancho	0.59 m
	5.9 pies		10.7 pies		6.2 pies
Largo	8.6	Largo	12.1	Largo	13.2
	10.2		14.3		15.5
	11.5		16.2		17.6
CAMA SUPERIOR		CAMA SUPERIOR		CAMA SUPERIOR	
Largo	20 pies	Largo	20 pies	Largo	20 pies
Ancho	8 pies	Ancho	8 pies	Ancho	8 pies
Área	160 pies ²	Área	160 pies ²	Área	160 pies ²
F	100 ton/h	F	100 ton/h	F	100 ton/h
T	67 ton/h	T	67 ton/h	T	67 ton/h
P	1.4 m/h	P	1.4 m/h	P	1.4 m/h
C	18 m/h	C	18 m/h	C	18 m/h
M	1.08 m/h	M	1.08 m/h	M	1.08 m/h
K	1 m/h	K	1 m/h	K	1 m/h
Humedad	<3%	Humedad	<3%	Humedad	<3%
O1	3-6%	O1	3-6%	O1	3-6%
O2	1	O2	1	O2	1
O3	1	O3	1	O3	1
O4	0.85	O4	0.75	O4	0.85
O5	0.9	O5	0.8	O5	0.8
O6	1.15	O6	1.1	O6	0.9
O	0.92	O	0.75	O	0.72
Área	4.79	Área	12.09	Área	7.63
	52		130		82
	61		153		97
	69		174		108
Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario		Cálculo del ancho necesario	
Tamaño	0.5 pulg	Tamaño	0.5 pulg	Tamaño	0.25
D	76.2 mm	D	38 mm	D	19 mm
T	70 m/h	T	70 m/h	T	19 m/h
S	38 m/min	S	38 m/min	S	38 m/min
Ancho	0.56 m	Ancho	1.00 m	Ancho	0.59 m
	5.9 pies		10.7 pies		6.2 pies
Largo	8.6	Largo	12.1	Largo	13.2
	10.2		14.3		15.5
	11.5		16.2		17.6

Tabla VII

Análisis del consumo energético por tonelada de alimentación en el sistema actual, con un aumento de la producción del 73% y del 325%.

LÍNEA 1031	Código	HP Motor	Actual 1031	Actual 1032	Optimizada en un 325%
Trituradora de quijadas	11-211-TM1	100	100		100
Trituradora de martillos	11-211-TB1	60*2			120
Zarandas	11-211-CV1	7.5	7.5		7.5
	11-290-CV1	15	15	15	40
	11-290-CV2	7.5	7.5	7.5	40
Bandas	11-211-CS1	5	5		5
	11-290-CS2	3	3	3	3
	11-290-CS3	15	15	15	15
	11-290-CS5	7.5	7.5	7.5	7.5
	11-290-CS4	7.5	7.5	7.5	7.5
	11-290-CS6	5	5	5	5
LÍNEA 1032					
Trituradora de quijadas	11-212-TM1	200		200	200
Trituradora de hidrocono	11-210-TG1	200	200	200	200
Zarandas	11-290-TY2	7.5		7.5	7.5
	11-290-CV3	15			
Bandas	11-212-CS1	15	15	15	15
	11-212-CS2	5		5	5
	11-210-CS1	7.5		7.5	7.5
	11-290-CS9	10	10	10	10
	11-290-CS8	10			
	11-290-CS7	10			
	11-290-CSC	15		15	15
	11-290-CSE	5		5	5
	11-290-CSD	3		3	3
HP consumidos			398	529	819
kW consumidos			297	394	610
			kWh/ton		
Producción actual	75	ton/h	3.96	5.25	
Aumento del 73%	130	ton/h	2.28	3.03	
Aumento del 425%	320	ton/h			1.91
Relación porcentual del consumo de energía por ton				75%	1031/1032
				58%	73%/Actual
				48%	325%/Actual 1031
				36%	325%/Actual 1032

APÉNDICE F

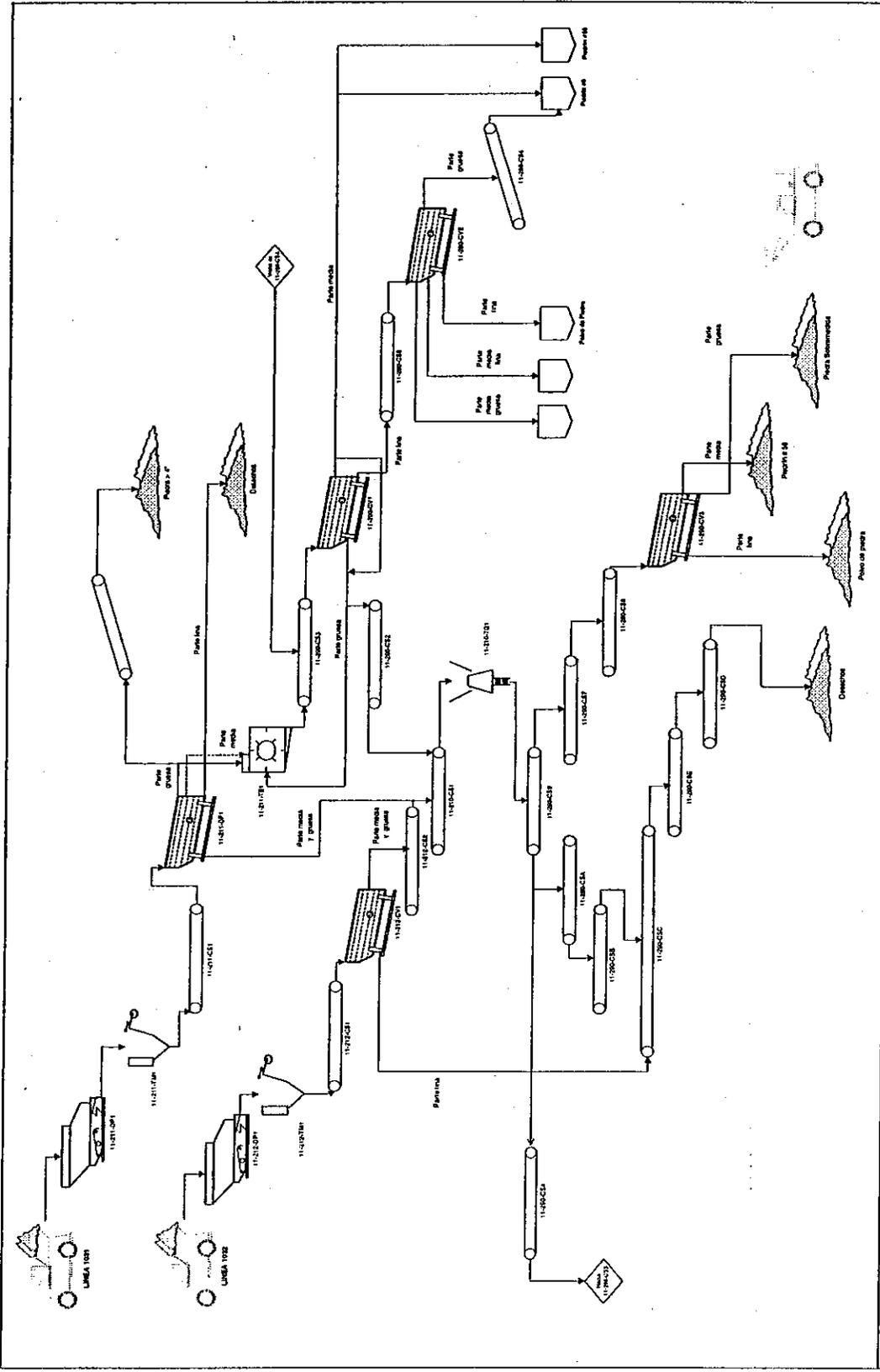
Tabla VIII. Datos de los equipos de las líneas 1031 Y 1032

LINEA 1031										
	Código	Marca	Modelo	Largo	Ancho	HP Motor	# Camas	# mallas Cama	Angulo	
Trituradora de quijadas	11-211-TM1	Allis Chalmers	42-32 A			100				
Trituradora de martillos	11-211-TB1	Cedarapids	3042			60*2				
Zarandas	11-211-CV1	Allis Chalmers	SX Ripi-Flo	12'	5'	7.5	2	3	20°	
	11-290-CV1	Allis Chalmers	Ripi-Flo	8'	4'	15	3	2	20°29'	
	11-290-CV2	Allis Chalmers	RipiFlo	8'	4'	7.5	2	2	25°	
Bandas	11-211-CS1			42'6"		5				
	11-290-CS2				18"	3				
	11-290-CS3			58'6"	24"	15				
	11-290-CS5					7.5				
	11-290-CS4				24"	7.5				
	11-290-CS6				18"	5				
LINEA 1032										
	Código	Marca	Modelo	Largo	Ancho	HP Motor	# Camas	# mallas Cama	Angulo	
Trituradora de quijadas	11-212-TM1	Traylor	42-48 HB			200				
Trituradora de Hidrocond	11-210-TG1	Allis Chalmers	12-60			200				
Zarandas	11-290-TY2	Allis Chalmers	SX Ripi-Flo			7.5	2	3	20°	
	11-290-CV3	Allis Chalmers	Ripi-Flo	12"	4"	15	2	3	21°	
Bandas	11-212-CS1					15				
	11-212-CS2					5				
	11-210-CS1			83'	24"	7.5				
	11-290-CS9			41'2"	18"	10				
	11-290-CS8			18	24"	10				
	11-290-CS7			14.5	24"	10				
	11-290-CSC					15				
	11-290-CSE			284'	24"	5				
	11-290-CSD					3				

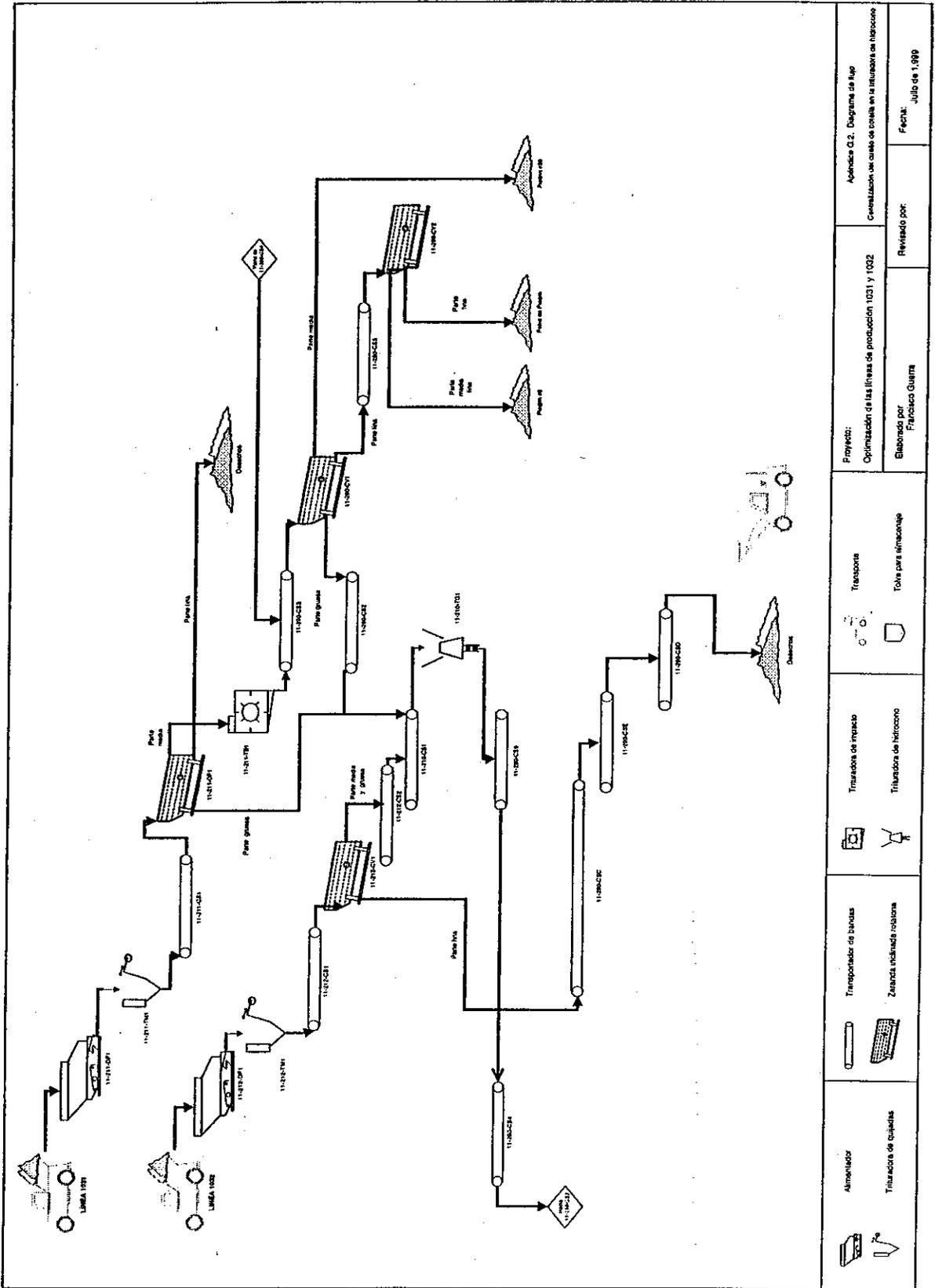
APÉNDICE G. DIAGRAMAS

Diagrama G.1 Diagrama de flujo de las líneas de trituración 1031 y 1032, sistema actual.

Diagrama G.2 Diagrama de flujo de las líneas de trituración 1031 y 1032 después de centralizar el cuello de botella en la trituradora de hidrocono.



	Alimentador Transformador de voltajes	Transportador de bombas Zanjada inclinada roscada	Transmisor de impacto Transmisor de hidrometro	Transporte Tole para almacenaje	Proyecto: Optimización de las líneas de Producción 1031 y 1032	Revisado por: Fernando Guerra	Apéndice G: Diagrama de Flujo Líneas de Insucción 1031 y 1032. Sistema Acqua	Fecha: Febrero de 1999
--	--	--	---	------------------------------------	---	----------------------------------	---	---------------------------



 Alimentador  Transportador de bandas  Triturador de quiebras	 Transportador de bandas  Trituradora de horrozo	 Trapeadora  Toma para simulación	Proyecto: Optimización de las líneas de producción 1031 y 1032 Elaborado por: Francisco Guerra	Apéndice G.2. Diagrama de flujo Generalización de áreas de control en la simulación de procesos Revisado por: Fecha: Julio de 1999
--	---	--	---	--

APÉNDICE H. OTROS DATOS DE UTILIDAD

A continuación se muestran las fuentes de los factores previamente mencionados para el cálculo del ancho y la capacidad de las zarandas.

Tabla IX Factor de velocidad del material para zarandas inclinadas

Modelo	XH	SH	SH
Abertura de zaranda	>1	>1	<1
Velocidad del motor (rpm)	750	800	800
Factor de velocidad (m/min)	38	38	30

Tabla X Factor de corrección Q

Q	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Factor de corrección	Abertura de la criba	Forma del material	Proceso húmedo (abertura pulg)	% de superficie húmeda (proceso seco)	Área efectiva	% de área abierta
1.40			n.º35 – ¼"			70
1.30			¼" – ½"			65
1.25	Rect. 4x1		½" - 1"			62.5
1.20	Rect. 3x1		1" – 1 ½"			60
1.15	Rect.2x1		1 ½" - 2"			57.5
1.10			2" - 3"			55
1.00	Cuadrada	Cúbica	Proceso seco o > 3	< 3% o proceso húmedo		50
0.90		Laminar			Primera cama	45
0.85				3% - 6%		42.5
0.80	Redonda				Segunda cama	40
0.75				6% - 9%		37.5
0.70					Tercera cama	35
0.60						30
0.50						25