

26  
21



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN

INGENIERÍA CIVIL

TÉCNICAS ACTUALES DE TRITURACIÓN DE AGREGADOS

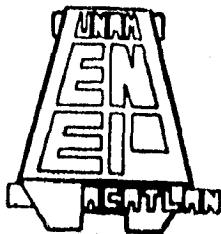
TESIS

QUE PRESENTA

ALFONSO OCAMPO TELLEZ

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL



NAUCALPAN, ESTADO DE MEXICO

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

ASESOR DE TESIS: ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA



1996.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIAS

### A MIS PADRES :

Con todo cariño para quienes además de la vida y su amor, me han dado su apoyo y los sabios consejos, que me guiaron ha culminar la meta trazada, esperando con esto agradecer parte de los múltiples sacrificios que han hecho para formarme tanto profesional como moralmente

### A MIS HERMANOS :

Por los estímulos y ayuda que cada uno de ustedes me dio, por los malos y bellos momentos que hemos pasado juntos, y por la unidad que nos inculcaron nuestros padres.

**A MI ESPOSA :**

Con todo mi amor para ti, que me has dado toda tu comprensión, cariño, ayuda espiritual y apoyo para ver terminado este trabajo que tanto anhelaba.

**A MIS HIJAS :**

Por ser la luz que me guía y el alma que me impulsa a superarme. Esperando que este esfuerzo sea norma en su vida.

**A MI ESCUELA :**

**Por las experiencias y enseñanzas vitalicias obtenidas ahí, te recordare eternamente.**

**A MIS PROFESORES :**

**Por ser ustedes las personas que nos entregan sus conocimientos y preparan para afrontar nuestra vida tanto profesional como personal con mejor criterio.**

A LOS INGENIEROS :

FERNANDO FAVELA LOZOYA ;

PEDRO LUIS BENITEZ ESPARZA ;

JORGE URIARTE GARCIA.

Mi más sincero agradecimiento por su valiosa cooperación para la realización de este trabajo.

A MIS AMIGOS :

A mis compañeros y amigos de la empresa "P.C.D. Ingeniería" por su apreciable apoyo, y en general a todos mis amigos y familiares que moralmente siempre han estado conmigo.

## CONTENIDO

	Página
Lista de tablas .....	IX
Lista de figuras.....	X
Capítulo	
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	
1.1.- Descripción del trabajo.....	1
1.2.- Importancia de este procedimiento.....	2
1.3.- Características de los agregados.....	3
1.4.- Mercado.....	7
1.5.- Una vista a futura.....	10
<b>II.- GENERALIDADES SOBRE PRODUCCIÓN</b>	
2.1.- Origen de los agregados.....	13
2.1.1.- Naturales.....	13
2.1.2.- Triturados.....	16
2.2.- Tipos de roca.....	22
2.3.- Localización.....	24
2.4.- Diversos tipos de tratamientos.....	27
2.4.1.- Trituración.....	27
2.4.2.- Cribado.....	31
2.4.3.- Lavado.....	33
2.5.- Cualidades de las rocas.....	34
2.5.1.- Resistencia a la compresión.....	35
2.5.2.- Dureza.....	36
2.5.3.- Forma.....	38

2.5.4.- Desgaste.....	39
<b>III.- EQUIPOS DE TRITURACION</b>	
3.1.- Para producción primaria.....	47
3.1.1.- Trituradoras de Quijadas.....	47
3.1.2.- Trituradoras Giratorias.....	52
3.2.- Para producción secundaria y terciaria.....	58
3.2.1.- Trituradoras de Conos "F" y "FC".....	59
3.2.2.- Trituradoras de Rodillos dobles y triples.....	65
3.2.3.- Trituradoras de Martillos y de Impacto.....	70
3.3.- Para producción cuaternaria o molienda.....	74
3.3.1.- Trituradoras de Conos VFC.....	75
3.3.2.- Molinos de Barras.....	77
3.3.3.- Molinos de Bolas.....	82
<b>IV.- EQUIPO COMPLEMENTARIO</b>	
4.1.- Alimentadores.....	85
4.2.- Bandas Transportadoras.....	92
4.3.- Cribas vibratorias.....	100
4.4.- Gusanos Lavadores.....	112
4.5.- Ciclones hidráulicos.....	114
<b>V- SELECCION DEL EQUIPO DE LA PLANTA DE TRITURACION</b>	
5.1.- Ejemplo.....	120
5.2.- Estudio de los sistemas de control para la planta de trituración.....	131



VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bibliografía..... 151

## LISTA DE TABLAS

Número	Pagina
1.- Tamaño de las partículas.....	15
2.- Clasificación general de las rocas y contenido de minerales.	25
3.- Índice y modo de reducción de las trituradoras.....	45
4.- Capacidades de producción de las trituradoras de quijadas tipo Blake.....	53
5.- Rendimientos de trituradoras de quijadas del tipo "Blake"	55
6.- Rendimientos de trituradoras Giratorias.....	58
7.- Capacidades de producción de las trituradoras de conos "S" y "FC".....	63
8.- Rendimientos de trituradoras de rodillos dobles y triples....	69
9.- Rendimientos de los molinos de martillos.....	74
10.- Capacidades de producción de las trituradoras de cono "VFC".....	78
11.- Capacidades de alimentadores de mandil.....	89
12.- Rendimientos de alimentadores de plato recíprocante.....	91
13.- Areas teóricas de bandas transportadoras.....	98
14.- Capacidades de transportadores de banda.....	99
15.- Inclinaciones máximas para bandas transportadoras.....	100
16.- Tamaño de las aberturas de mallas.....	102
17.- Factores de corrección de las capacidades de las cribas vibratorias.....	109
18.- Registro de balance granulométrico.....	126

## LISTA DE FIGURAS

Número	Página
1.- Motoescropa realizado la operación de despalme.....	18
2.- Frente en escalones o gradas.....	18
3.- Pala hidráulica montada sobre orugas cargando un camión..	20
4.- Relación entre las capacidades de las palas mecánicas y la abertura de alimentación de trituradoras primarias.....	20
5.- Camión fuera de carretera.....	21
6.- Camión dentro de carretera.....	22
7.- Principio del drop-ball.....	23
8.- Carta geológica de la república mexicana.....	28
9.- Máquina de los ángeles.....	40
10.- Esquema de una trituradora que muestra el índice de reducción.....	43
11.- Coeficiente de forma.....	46
12.- Quebradora de quijadas tipo "blake".....	48
13.- Quebradoras de quijadas de simple efecto.....	51
14.- Curvas granulométricas del producto de las quebradoras de quijadas de simple efecto.....	54
15.- Trituradora giratoria "superior MC CULLY".....	56
16.- Trituradora de cono tipo "S".....	60
17.- Curvas granulométricas del producto de las trituradoras de conos "S" y "FC".....	64

18.- Triturado de roca entre dos rodillos.....	66
19.- Quebradoras de martillos de rotor simple.....	71
20.- Esquema de una quebradora de impacto de simple rotor....	73
21.- Corte longitud de las quebradoras de conos.....	76
22.- Curvas granulométricas de la trituradora de conos VFC.....	78
23.- Corte de un molino de barras.....	79
24.- Tipos de alimentación y descarga del molino de barras.....	81
25.- Corte de un molino de bolas.....	82
26.- Alimentadores de mandil o de tablero metálico.....	87
27.- Alimentador de delantal o plato recíprocante .....	90
28.- Alimentador "Grizzly" vibratorio con rejilla de precibado....	91
29.- Esquema de las partes básicas de una banda transportadora.	94
30.- Banda transportadora portátil .....	95
31.- Sección transversal de una banda transportadora con carga..	96
32.- Medidas de las telas de alambre.....	101
33.- Criba vibratoria inclinada.....	104
34.- Criba vibratoria horizontal.....	105
35.- Criba vibratoria equipada con dispositivos lavadores.....	106
36.- Principios del clasificador de tornillo.....	113
37.- Aspecto exterior del ciclón hidráulico.....	115
38.- Corte longitudinal del ciclón hidráulico.....	117
39.- Esquema de un circuito típico de un ciclón simple y un gusano lavador.....	118
40.- Flujo de la instalación (Flow-sheet).....	128
41.- Planta portátil de trituración y cribado.....	132

42.- Gráfica para control de producción agregados.....	134
43.- Carta de control de producción de agregados.....	135
44.- Reporte diario de producción de agregados .....	137
45.- Reporte semanal de producción de agregados.....	138
Anexo 1.- Hoja de balance granulométrico.....	121
Anexo 2.- Cálculo de cribas.....	122

## GLOSARIO Y ABREVIACIONES

- Agregados pétreos** : Son fragmentos de roca de diversos tamaños, que deben cumplir con especificaciones físicas y granulométricas.
- Aspersión** : Acción de regar o rociar con agua por medio de tuberías.
- Balasto** : Agregado pétreo que se utiliza en las vías férreas.
- Banco natural** : Lugar donde se localiza una cantidad grande de material pétreo.
- Cantera** : Lugar donde se extrae la roca para producir agregados pétreos, y se excava a cielo abierto.
- Caudal** : Cantidad de material que transporta un equipo.
- Circuito cerrado** : Se dice cuando retornan a la misma máquina los sobretamaños del material producido por la misma.
- Compacidad** : Que tiene textura apretada y poco porosa.
- Cribar o harnear** : Acción de separar las partes pequeñas de las grandes a través de una criba.
- Criba** : Coladera o rejilla hecha de barras soldadas, placa de acero perforada o tela de alambre.
- Decantación** : Procedimiento para separar un sólido de un líquido por diferencia de pesos.
- Despalme** : Excavar o remover las capas de tierra vegetal.
- Escorias de alto horno** : Desperdicios de hierro o material silico-aluminoso

- que se funde en hornos.
- Frente de ataque** : Lugar donde se inicia la explotación de un banco natural.
- Fig.** : Figura.
- Ft.** : Pie.
- Ft. 2** : Pie cuadrado.
- Ft. 3** : Pie cúbico
- Granulométria** : Combinación de los tamaños de los agregados pétreos dentro de límites específicos.
- Horse power-hour** : Caballos de fuerza por hora.
- Hp.** : Caballos de fuerza.
- Hr.** : Hora.
- Inmersión** : Introducir material o un objeto en agua.
- Kgs.** : Kilogramo.
- Lajas** : Piedras fragmentadas de forma alargada.
- Lbs.** : Libras.
- Material en greña** : Material pétreo que no ha sido sometido a ningún tratamiento.
- Material de monco:** Bloques de tamaño mayor al de la abertura de admisión de la trituradora, y que recibirá una segunda fragmentación.
- Mina** : Lugar donde se localiza una cantidad grande de cierto material y para explotarlo se excava bajo tierra.
- Min.** : Minuto.

- M<sup>3</sup>** : Metro cúbico.
- Pedrera** : Banco de piedra.
- Planta estacionaria:** Son plantas fijas
- Plantas portátil** : Son plantas móviles, equipadas con chasis remolques.
- Pulg.** : Pulgada.
- Rendimiento** : Capacidad de producción medido en un lapso de tiempo.
- r. p. m.** : Revoluciones por minuto.
- Quebradora** : También llamada trituradora, y son máquinas de constitución pesada, que se usan para reducir de tamaño el material pétreo.
- Sondeos** : Excavaciones para explorar bajo tierra.
- terrazas** : Espacio de trabajo plano y elevado, pudiendo ser de uno o varios pisos en forma de escalones.
- Ton.** : Toneladas.
- Toneladas cortas** : Equivalentes a 907 kgs. o 2000 lbs. aproximadamente de toneladas métricas.
- t. p. h.** : Toneladas por hora.
- Yacimiento** : Lugar donde se deposita el material pétreo.
- Yd. <sup>3</sup>** : Yarda cúbica.
- "** : Pulgadas.
- '** : Pies.



## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### **1.1 DESCRIPCION DEL TRABAJO**

Los agregados pétreos ocupan un lugar importante dentro de la construcción, donde tienen una gran variedad de aplicaciones en las que pueden intervenir ya sea solos o componiendo alguna mezcla, teniendo además la cualidad de poderse producir a bajos precios en comparación con los materiales con que se mezclan, siendo esto de gran interés en la economía de la construcción, como a la del país.

Por lo anteriormente mencionado se considera trascendente hacer un estudio de la producción de los agregados pétreos en esta tesis; donde se podrá conocer y analizar los aspectos que más influyen para su elaboración, como lo son: su origen y localización; los tipos de roca de donde se obtienen, sus cualidades y los diversos tipos de tratamientos que deben sufrir para transformarlos en agregados útiles.

En otros capítulos de este trabajo se podrán conocer los equipos de trituración, que existen actualmente para la fabricación de agregados, así como el equipo complementario, que se ha caracterizado por ser de gran ayuda a las máquinas trituradoras como a los productores de este material, pues además de darnos una mejor calidad del producto, nos reduce los

tiempos y costos de producción, siendo posible todo esto, cuando se realiza una correcta selección del equipo para el que ha nuestro caso convenga. Por esta razón se analiza en la parte final de este trabajo, el método de selección del equipo que conformara la planta de trituración, objetivizándolo por medio de un problema.

Entonces puede decirse que, con la combinación de una excelente técnica, una buena planeación y un control adecuado de la producción, se pueden obtener satisfactoriamente los resultados esperados.

## **1.2 IMPORTANCIA DE ESTE PROCEDIMIENTO**

En todo tipo de obras civiles, grandes o pequeñas se encuentran involucrados en forma directa o indirecta, ya sea en mayor o en menor grado, los agregados pétreos; por lo que pueden suceder que el avance, realización y costo de una obra dependa en gran porcentaje de estos materiales, como son los casos de las grandes obras de edificación, que están fabricadas con elementos de concreto hidráulico y donde el volumen de la mezcla se encuentra constituido de un 60% a 80% por los agregados pétreos; las presas de enrocamiento, de concreto y de materiales graduados, en donde se llegan a ocupar grandes cantidades de estos materiales; las vías férreas, donde se localiza en toda la línea al balasto; los caminos en donde la sub-base, la base y la carpeta están constituidas por diferentes clasificaciones granulométricas; también en las pistas de los aeropuertos, así como en otros tipos de construcciones.

Es por eso necesario e importante analizar y ampliar las técnicas actuales de producción de agregados, para que así los estudiantes de

ingeniería y arquitectura, personas interesadas y productores de este material, pueden acrecentar sus conocimientos en este campo de la construcción, y adquieran las bases suficientes para resolver los diferentes tipos de problemas de trituración que se les puedan presentar, así como que les sean de utilidad para hacer un mejor uso y correcta selección del equipo de trituración.

### 1.3 CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

Por los diferentes usos que se le dan en ciertos trabajos a los materiales pétreos, es importante conocer las características que deben tener para cumplir con las normas y especificaciones de calidad de las obras en las que intervienen, para poder así servir adecuadamente a las necesidades de éstas. Ya que muchas veces los resultados esperados pueden depender grandemente de éstos, como es el caso de las obras civiles que para su construcción se requieren miles de metros cúbicos de concreto, y donde las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados influyen bastante en el comportamiento de la mezcla.

Podemos decir, que las características más importantes de los agregados que influyen principalmente son: forma, tamaño, pureza y limpieza de las partículas, durabilidad y granulometría.

**Forma.** La Forma de las partículas tienen gran influencia en las propiedades físicas de los agregados, pues ha quedado comprobado que una forma entre más alargada será más débil y tendera a fracturarse más fácilmente; por el contrario, una forma que tiende a aproximarse más a la esfericidad nos dara mayor resistencia, además de que presentara mayor

compacidad ya que las partículas se acomodan más fácilmente y dejan menores porcentajes de huecos, esto ayudara a que los agregados ofrezcan mayor resistencia a las deformaciones y puedan soportar las altas cargas a que son sometidos, como es el caso de las carreteras y vías férreas donde tienen que soportar grandes toneladas.

**Tamaño.** Esta bien estableciendo que el tamaño de los agregados influye en los costos y calidad de los elementos que compondran, como se observa en las mezclas para concreto hidráulico, donde a mayor tamaño se necesitara menor contenido de cemento para una misma resistencia, entonces podremos obtener una mezcla más económica, ya que como se sabe el cemento es el ingrediente caro de dicha mezcla.

**Pureza y limpieza.** Los materiales pétreos deben ser limpios y puros para no causar reacciones destructivas con los componentes con que pueden ser combinados (o con los del cemento), ya que las sales, arcillas, limos, materiales orgánicos y demás sustancias extrañas pueden perjudicar grandemente la calidad de éstos. En algunos casos una observación visual directa resulta suficiente para la estimación de calidad en los agregados, pero la determinación concluyente se logra mediante un lavado y una prueba granulométrica.

**Granulometría.** Un aspecto muy importante de los agregados es su granulometría, que consiste en combinar todos los tamaños de los granos dentro de límites específicos, a modo de que los huecos dejados por las partículas mayores sean ocupados por partículas de menor tamaño y que a la vez, los huecos que dejen estas sean llenados por partículas más finas y así sucesivamente. De esta forma se reducirá los huecos y tendremos una

mayor compacidad y resistencia, dándonos a la vez una mejor trabajabilidad y mayor economía en las mezclas que componen.

Esta granulometría se puede obtener en el laboratorio con un análisis granulométrico utilizando tamices experimentales estándar para cribar el material, el análisis consiste en pasar el material por una serie de tamices de diferentes tamaños de abertura, anotando los porcentajes retenidos por cada tamiz que representa la fracción del material que es más grueso que el tamiz en cuestión pero más fina que el tamiz inmediato superior, el resultado del análisis se comprende mucho mejor si se representa gráficamente, por esta razón se utilizan mucho las gráficas de granulometría, donde se puede observar si las partículas están bien graduadas.

A continuación se mencionan las especificaciones de los límites granulométricos de los materiales más comunes utilizados en las obras civiles, clasificados de acuerdo con éstas en tres grupos:

**Grupo 1. Agregados destinados a elaborar concretos hidráulicos.**

<u>DESCRIPCION</u>	<u>TAMAÑO DE LA MALLA</u>
Arena :	de la No. 4 a la No. 200
Grava 1:	de 3/4" a la No. 4
Grava 2:	de 1.1/2" a 3/4"
Grava 3:	de 3" a 1.1/2"
Grava 4:	de 6" a 3"

Generalmente en las obras urbanas es donde se utilizan los tamaños de arena, grava 1 y grava 2. En las grandes obras hidroeléctricas e hidráulicas es en grado masivo donde la clasificación de concreto solicita los tamaños de la grava 3 y grava 4, con el objeto de minimizar los consumos por metro cúbico de cemento. Normalmente estos agregados se exigen que sean lavados, o sea que se elaboren por vía húmeda.

**Grupo 2.** Agregados destinados a construir caminos y aeropistas.

<u>DESCRIPCION</u>	<u>TAMAÑO DE LA MALLA</u>
Material de sub-base	de 2" a 0"
Material de base:	de 1.1/2" a 0
Material para carpeta asfáltica.	de 3/4" a 0
Material de sello:	de 3/8" a 1/4"

Estos materiales se pide que se elaboren por vía seca, esto es con el objeto de aprovechar los finos, ya que es material cementante, fácil de compactar.

**Grupo 3.** Agregados para las vías férreas.

<u>DESCRIPCION</u>	<u>TAMAÑO DE LA MALLA</u>
Balasto:	de 1.1/2" a 3/4"
Screening:	de 3/4" a 1/4"
Polvo de desperdicio:	de 1/4" a 0"

Estos materiales se elaboran por vía seca.

#### **1.4 MERCADO**

Es de elemental prudencia, que antes de abrir una cantera se realice una prospección completa y minuciosa del yacimiento y de su explotación, para así poder establecer las condiciones de rentabilidad; dentro de estas prospecciones no debe faltar el estudio de mercado.

El estudio de mercado se debe llevar sobre dos puntos principales, que son:

- a) el costo de fabricación de los productos
- b) su comercialización.

Estudio del costo de fabricación. Un estudio completo del costo de fabricación deberá englobar la participación de los gastos de establecimiento y su amortización, gastos generales, provisiones diversas, etc., que no entran en nuestro propósito explicar.

Nos contentaremos a dar un resumen de los tres elementos principales que intervienen en los gastos de explotación y que deben ser de estudio previo:

- Las condiciones de explotación y mantenimiento.
- el personal.
- los transportes.

Para dos explotaciones, que se trabajan en condiciones análogas, las formas de explotación son generalmente diferentes y pueden contener desviaciones sensibles entre los costos de fabricación.

Una cantera, por ejemplo, con un despalme que exija una limpieza importante y difícil verá su precio de fabricación gravado por gastos que no intervendrán evidentemente, en otra cantera sin despalme. De igual forma, un yacimiento con importantes bolsas de arcilla puede exigir un tratamiento complementario de los productos que nos llevará a un precio de fabricación más alto que en un yacimiento limpio.

Un material muy silicoso ocasionará un desgaste por abrasión que exigirá un reemplazamiento rápido de las piezas de desgaste.

Una larga distancia entre el frente y la planta de tratamiento aumenta los precios de transporte.

Hay un punto sobre el que debe llamarse particularmente la atención del explotador, es el mantenimiento y conservación del equipo, ya que está probado que el mantenimiento y conservación sistemático del equipo lleva a una disminución sensible del costo de fabricación, asegurando un mejor funcionamiento y rendimiento, con la suspensión casi total de las paradas accidentales, así como una mayor vida del equipo.

Los gastos del personal cuentan entre los más importantes de la explotación. Anteriormente en una explotación manual la mano de obra se componía solamente de un jefe de cantera ( capataz ) y un número importante de obreros más o menos calificados. Actualmente con la mecanización y automatización de las instalaciones en las canteras, se ha reducido el empleo de personal, pero teniendo por contrapartida la necesidad de técnicos altamente calificados como: personal de dirección, especialistas de perforación y voladura, conductores de máquinas, operadores de la central de control, etc., todos con un elevado salario. Así



pues con el requerimiento de un personal más especializado y caro, pero a la vez con la disminución del número de personal, y con el fuerte progreso en el rendimiento, el explotador encuentra, a fin de cuentas, una clara ventaja en dichos gastos.

Estudio de la comercialización. Este estudio considera dos aspectos importantes, que son: el mercado potencial y la competencia.

No es frecuente ver explotadores decidir la apertura de una cantera o proceder a la transformación de las instalaciones existentes, teniendo sólo en cuenta el mercado actual. Ahora bien, las inversiones requeridas y los gastos de explotación exigen amortizaciones a largo plazo que la demanda actual raramente asegura, por lo que las previsiones a largo plazo deben ser objeto de un estudio minucioso.

El mercado potencial deberá atender en particular, hacia los proyectos gubernamentales, y de la región o municipio, concernientes a edificación, obras públicas, carreteras, etc., y hacia las posibilidades de acción de la demanda de los particulares, y de forma general, sobre todos los elementos que permitan razonablemente prever el porvenir.

Antes de montar o modificar una instalación de preparación de materiales, es importante proceder a un estudio de la competencia, que nos permitirá conocer sus probabilidades de producción, la calidad de sus entregas, su clientela, y sus precios de venta.

Provisto de estos informes, el explotador podrá considerar, si es oportuno proceder a las relaciones previstas, como también tomar

decisiones con pleno conocimiento de causa, conocer la clientela potencial, orientar su producción y fijar los límites de sus propios precios.

Y no debe olvidarse que, en este terreno, la regularidad y limpieza de los productos permiten muy a menudo luchar con la competencia, aun a precios ligeramente superiores.

### **1.5 UNA VISTA AL FUTURO**

La materia prima para la elaboración de los agregados se puede obtener de la roca procedente de la explotación de una cantera, bancos naturales de grava, escorias de alto horno, así como de productos sintéticos provenientes de la cocción de horno rotatorio de materiales silico-aluminosos. Aquí en México, la gran mayoría de las plantas de producción de agregados utilizan como materia prima para la elaboración de éstos, la roca fragmentada, y solo como excepciones puede citarse en la ciudad de Monterrey, una planta que procesa las escorias de alto horno de Fundidora Monterrey; y en Monclova, Coahuila, otra que procesa escorias de Altos Hornos de Mexico. La utilización de la roca como materia prima principalmente para la elaboración de los agregados, se debe en gran parte a que en comparación con los demás materiales produce los agregados de más bajo costo.

En algunas partes de Estados Unidos donde hay escasez de bancos de roca y río, se ha elaborado agregados de material sintético a precios muy altos; en el sureste de México en una ocasión se penso en lo mismo pero los costos resultaron muy altos, no pudiéndolos soportar la economía del país; además, se tiene el privilegio que exista una gran

cantidad de recursos no-renovables de este tipo en el país, y como prácticamente una considerable parte del territorio esta virgen, no será hasta dentro de un largo período cuando se tenga que pensar en sustituir este material pétreo por otro de los ya mencionados, u otro que pudiera resultar más económico.

Los agregados son creados especialmente para utilizarse en las obras de construcción, por lo que podemos decir que el mercado de la industria de los agregados dependen en buena medida del estado de la industria de la construcción. Así también podemos ver que la mayoría de las obras ( refiriendonos a proyectos de gran envergadura como; presas, carreteras, edificios, etc.) las realizan los ejecutivos Federal, Estatal y Municipal a través de sus departamentos o secretarías respectivas, así que la industria de la construcción va depender en gran parte del estado económico y financiero en que se encuentra el país.

Así por ejemplo en este momento actual en que la situación económica y financiera del país es crítica y deprimente, la industria de la construcción ha sido de las más afectadas de todas las ramas industriales y por ende, también lo ha sido la industria de los agregados.

Por otro lado, se ha visto, queriendo mejorar la regularidad del funcionamiento de las instalaciones productoras de agregados, su rendimiento y calidad de los productos tratados, que la mecanización ha empezado a predominar, de ello ha resultado la sustitución de la mano de obra poca y no calificada por técnicos de sueldos elevados; lo que ha conducido a buscar soluciones que permitan aún disminuir el número de

personal. De donde la tendencia actual a la automatización más o menos completa según la importancia de la explotación.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el rumbo que ha tomado actualmente la industria de los agregados se orienta hacia la mecanización y automatización electrónica, con la que ya cuentan gran porcentaje de plantas productoras, beneficiadoras y procesadoras de agregados para la construcción en el D.F. como en el Estado de México, e inclusive en los principales Estados de la República Mexicana.

Actualmente muchos economistas no dudan en predecir ( en condiciones optimas de mercado), para un porvenir más o menos próximo, la desaparición o absorción de numerosas empresas de extracción y preparación de materiales que no habrán sabido o podido seguir el ritmo de un progreso de equipamiento cada vez más moderno y complejo. La oposición a las instalaciones automatizadas se convertirá en imposible, pues además de no poder competir en los precios de venta, tampoco lo podrán hacer en cuanto a la calidad del producto, ya que todo ello está directamente relacionado con el perfeccionamiento de equipos cada vez más sofisticados y de elevado costo.

## CAPITULO II

### GENERALIDADES SOBRE PRODUCCION

#### 2.1 ORIGEN DE LOS AGREGADOS

Es importante y fundamental conocer el origen de los agregados pétreos, que como ya se ha explicado, son fragmentos de roca de diversos tamaños que deben cumplir con especificaciones físicas y granulométricas. Las rocas con las que se elaboran dichos agregados se localizan en toda la corteza terrestre, encontrándose estas en dos formas diferentes: ya sea formando grandes volúmenes de masas rocosas que deberán ser explotadas, fragmentándolas primero por medios mecánicos o por explosivos, para después reducirla de tamaño a la granulometría requerida por medio de un proceso de trituración; o hallarse ya fragmentada en partículas de diversos tamaños provenientes de la desintegración de la roca madre por medios naturales. De acuerdo con la forma de haberse fragmentado la roca de donde se origina los agregados, estos se han dividido en dos grupos: agregados naturales y agregados triturados.

##### 2.1.1 Agregados naturales

Los agregados naturales se originan cuando las rocas son alteradas química y físicamente por los agentes meteorológicos como el

calor, frío, humedad y agua, comenzando a resquebrajarse las rocas dando primero fragmentos de aristas vivas, llamados bloques y cascajos según su tamaño, acumulándose al pie de los picos de las montañas, éstos materiales son luego transportados por corrientes aéreas y fluviales depositándose en los ríos, litorales, abanicos aluviales, planicies de inundación, glaciares, morenas, médanos, etc..

Al ser arrastrados por aguas de los torrentes y ríos, las piedras chocan unas contra otras y con las laderas, fragmentándose, se reducen, pulimentan y transforman en cantos rodados, gravas, arenas, etc..Todas estas piedras reciben diversos nombres conforme a su tamaño, observándose su clasificación en la tabla I.

Los lugares donde se redeposita este material pétreo generalmente se les conoce como yacimientos o bancos naturales de grava y arena, cuando este material aun no ha sido sometido a ningún tratamiento se le denomina "material en greña", éste suele ser una mezcla o estratificación de limo, arcilla, arena, grava, boleó y contaminación de materiales inertes y orgánicos.

Generalmente se encuentra los agregados naturales de río debajo de capas de tierra que hay que remover, llamando a esta operación de despalle, la cual se realiza con las máquinas usuales en las obras como: bulldozer, palas cargadoras, dragas de arrastre, etc..Todas estas máquinas también suelen cargar el material en greña en vehículos de acarreo de diferentes capacidades; cuando la distancia de acarreo es corta o la planta clasificadora se monta en el banco de préstamo para agregados y el

Tabla I. Tamaño de los granos

NOMBRE	LIMITES DE TAMAÑO	EJEMPLO
Boleo	305mm. (12 plg) o mayores	Mayor que una pelota de balón-cesto
Canto rodado	76mm. (3plg) a 305 mm.(12plg)	naranja a sandía
Grava gruesa	19mm. (3/4plg) a 76 mm.(3 plg)	uva a naranja
Grava fina	4.76mm. (M.N° 4) a 19 mm.(3/4plg)	chícharo a uva
Arena gruesa	2mm (M.N°10) a 4.76mm.(M.N° 4)	sal de cocina
Arena mediana	0.42mm (M.N°40) a 2 mm.(M.N°10)	Azúcar
Arena fina *	0.074mm (MN°200)a 0.42mm(MN.°20)	Azúcar en polvo
Finos (linos y arcillas)	Menores que 0.074 mm (M.N°200)	

\* Las partículas menores que la arena fina no se pueden distinguir a simple vista a una distancia de 20 cm.

volumen a mover sea grande se puede usar el sistema de transportador de bandas

El material en greña producto de estos bancos, comúnmente requiere como mínimo un tratamiento mediante el cual se seleccione los distintos tamaños que se deseen, acompañado de un lavado que elimine las partículas suaves y polvos que en su estado natural los estén afectando, así como las contaminaciones. En otras ocasiones, o en las obras grandes se requiere usar una trituradora adicional para corregir ciertas anomalías granulométricas, o bien para triturar los tamaños mayores y así obtener un aprovechamiento total de los agregados.

### **2.1.2 Agregados triturados**

En aquellas obras en las que no se dispone de bancos naturales de grava, es necesario obtener el agregado a partir de las rocas que deben ser previamente fragmentadas (por los medios descritos más adelante), para que posteriormente sean trituradas transformándolas así en agregados pétreos que cumplan con las especificaciones requeridas.

A los sitios de donde se extrae la piedra se les llama bancos de roca o canteras, y son explotaciones que se efectúan a cielo abierto, por resultar ser éstas más prácticas y económicas. Sin embargo si una cantera entra bajo tierra, es llamada mina.

Es importante que antes de la extracción de la roca se realice una serie de trabajos de exploración y muestreo, como sondeos, pozos y análisis de las muestras, para cerciorarse de la capacidad de la fuente de abastecimiento, la clase de rocas y sus propiedades, el sitio de



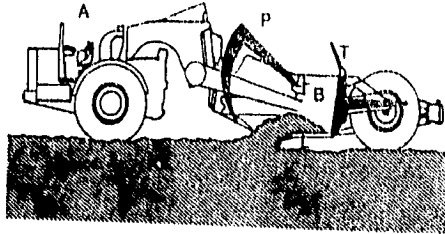
fracturamiento, el grado de interperización, etc. Con todos estos elementos se puede planear donde debe hacerse el frente de ataque y determinar que procedimientos de explotación son los adecuados.

Las operaciones que se realizan para la explotación de la cantera se dividen en dos series, que son: trabajos preparatorios y extracción propiamente dicha.

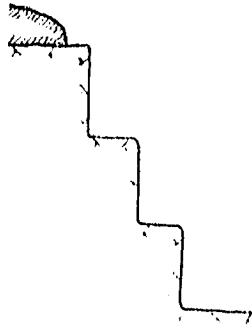
**Trabajos preparatorios.** Normalmente las rocas se encuentran cubiertas por suelos residuales de un espesor variable, por eso antes de iniciar la extracción del material es necesario proceder a retirar la montera situada sobre el yacimiento o banco, realizando las operaciones de despalme y desenraice (fig. 1), utilizando para esto máquinas como las escrapas, tractores, arados, etc., hasta dejar abierta la pedrera con su frente de ataque en uno o varios pisos (podemos observar en la fig. 2, un frente de ataque en escalones o gradas), dependiendo esto según el emplazamiento del yacimiento, la naturaleza del terreno, la altura del banco explotado, así como de los procesos y medios de extracción; debiendo dejar las terrazas respectivas para permitir la evolución de las máquinas de perforación, del equipo de carga y de evacuación del material extraído.

**Extracción propiamente dicha.** El proceso de extracción depende de las condiciones geológicas del o de los bancos, de la naturaleza de la roca, de la altura de la explotación prevista y de la futura utilización de los productos.

La extracción puede realizarse manualmente, quedando ya en desuso y distinguiendo actualmente sólo dos procesos de extracción: por medios mecánicos y por explosivos.



*Fig. 1- Esquema de una motoescrapa realizando la operación de despalme.*



*Fig.2- Frente en escalones o gradas*

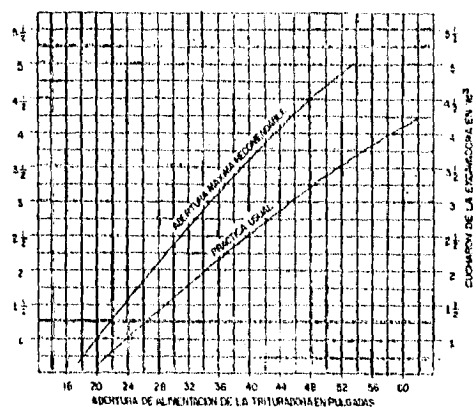
Extracción mecánica. En bancos friables o en algunos materiales blandos como creta, caliza para hornos de cal, lignita, lutitas, margas, tobas suaves y algunos otros, se extrae la roca con ayuda de medios mecánicos análogos a los empleados para la operación de despalme.

Extracción por voladura con explosivos. Es el caso más general, que tiene por objeto disgregar los bancos de roca por medio de explosivos, para lo cual contaremos con la asesoría de nuestro proveedor, donde además será conveniente hacer tres o cuatro voladuras de prueba. Al hacer las voladuras debemos procurar obtener una fragmentación en bloques de un tamaño tal, que permita su manejo por los medios de carga y de transporte disponible, así como su entrada a la boca de la quebradora primaria.



*Fig. 3- Pala hidráulica montada sobre orugas  
cargando un camión en una cantera.*

La carga (fig. 3), se realiza con cargadores frontales sobre neumáticos o sobre orugas, palas mecánicas, dragas, etc.. Es conveniente que las máquinas empleadas con cucharones de capacidades definidas guarden íntima relación con las dimensiones de la abertura de alimentación de las trituraciones primarias instaladas en la planta, como se ilustra en la gráfica de la fig. 4.



*Fig. 4- Gráfica ilustrando la relación entre la capacidad de las palas mecánicas y la abertura de alimentación de la trituración primaria.*

El transporte del material, se realiza con camiones de diversas capacidades y de gran robustez, estos vehículos de tipos muy diversos pueden agruparse en dos categorías principales: camiones fuera de carretera, como el volquete (fig.5) y camiones dentro de carretera, como el semiremolque (fig.6). En caso de acarreos relativamente cortos, el cargador frontal sobre neumáticos puede satisfactoriamente realizar las operaciones



*Fig. 5- Camión de volteo Fuera de carretera*



*Fig. 6- Camión dentro de carretera.*

de transporte a la planta de trituración, eliminando con esto una flotilla de camiones (sobre todo cuando brinda confiabilidad), esto redunda en la

economía de la producción; de igual manera lo pueden realizar las bandas transportadoras, que además permiten grandes rendimientos en forma continua y aporta una solución cómoda a diversos problemas de manutención.

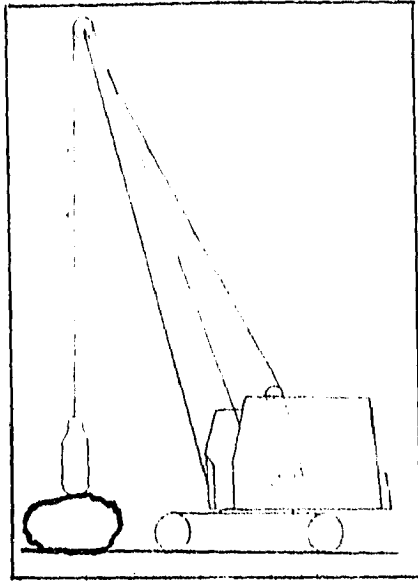
Taqueo secundario. En muchas ocasiones, a pesar de las precauciones tomadas en las tronadas masivas en los bancos de roca, un porcentaje medio del 20 al 30 % de bloques son demasiados grandes para manejarse con los medios de que se dispone, ni su paso por la machacadora primaria, es pues necesario fragmentarlos en la misma cantera, estos fragmentos mayores también son conocidos como " material de moneo ". La fragmentación secundaria se procede : con explosivos, por medios mecánicos ( fig. 7 ), por medio del martillo rompedor neumático o por medios manuales usando picos de cantera y cuñas.

## **2.2 TIPO DE ROCA**

Se considera fundamental para la producción de agregados conocer los tipos de rocas localizadas en el área de estudios, sus propiedades y características, ya que no cualquier banco que se tenga cerca puede ser apto para producir tal agregado.

Geológicamente las rocas se clasifican por el modo en que se formaron, agrupándose en tres grandes clases: rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

La clasificación geológica puede resultar muy complicada para nuestro caso ya que solamente basta saber mediante análisis mineralógicos



*Fig. 7- Fragmentación secundaria con el principio del drop-ball (o masa con caída libre)*

lógicos y físicos de laboratorio, si la roca es apta para fabricar agregado con la calidad requerida por las especificaciones de la obra.

En esta etapa de técnica, nos es de mayor interés conocer el comportamiento de nuestras máquinas de trituración en el proceso de todas esas rocas, por lo que se ha realizado una clasificación de las rocas con respecto a esto, dividiéndolas en dos grupos que son: " Rocas Abrasivas " y " Rocas no Abrasivas ".

Para llegar a determinar el grupo a que pertenece la roca del lugar de estudio, se han establecidos parámetros prácticos de comparación,

en donde usamos uno de los minerales más comunes y de mayor dureza como es el cuarzo , que nos dice que toda roca que su contenido de cuarzo sea mayor del 6% es una roca abrasiva y que cuando tenga menos de esta cantidad será una roca no abrasiva. Esto es equivalente en la escala de dureza de Mohs, donde se ha fundado una frontera que corresponde al grado 5.1/2 a 6, en donde todo el material que rebasa esta frontera es el material abrasivo , siendo material no abrasivo el de menor dureza que la indicada en dicha frontera.

Es importante determinar si una roca es o no abrasiva, ya que cierto tipo de máquinas, que son de gran utilidad sólo a condición de que la roca que procesarán no sea abrasiva, por que de lo contrario la abrasividad de la roca les producirá desgastes excesivos, con grandes pérdidas de tiempo en compostura, haciéndolas antieconómicas en la operación con dichas rocas. En la tabla 2, encontramos clasificadas geológicamente a las rocas más comunes con su contenido en porcentaje de minerales principales.

### **2.3 LOCALIZACION**

Las fuentes de abastecimiento donde se localiza la materia prima principal con la que se fábrica el agregado son los depósitos de: ríos, eólicos, de glaciación, volcánicos, marítimos, lacustres, canteras y almacenes de plantas de procesamiento o fabricación de agregados artificiales, siendo explicados brevemente algunos de ellos a continuación.

**Depósitos de ríos.** Se localizan en los playones o cauces de los mismos. En ellos se encuentran agregados redondeados, de fácil y econó-



Tabla 2. Clasificación gral. de las rocas más comunes con su contenido en % de los minerales principales. Según D.O. WOOLF (ing. principal de mats. del negociado de caminos de los E.U.A. ).

Nombre de la Roca	Número de Muestra	MINERALES												
		Caarzo	Ortoclasa Microclina	Plagioclasa	Augita	Hornblenda	Mica	Calcita	Dolomita	Clorita	Caolín	Epidoto	Oxidos de hierro	Vidrio de roca
C o n t e n i d o e n %														
<b>Rocas ígneas:</b>														
Granito	165	30	45 ( 8)	—	—	6	—	—	—	( 6)	—	—	—	5 <sup>1</sup>
Biotita Granito	54	27	41	9	—	11	—	—	—	( 7)	—	—	—	5
Hornblenda Granito	20	23	34	12	—	13	4	—	—	(10)	—	—	—	4
Augita Sienita	23	( 4)	52	7	8	—	4	—	—	( 3)	(11)	( 3)	( 4)	4
Diorita	75	8	7	30	—	27 ( 4)	—	—	—	( 3)	( 11)	( 5)	( 3)	5
Gabro	50	—	—	44	28	9	—	—	—	( 3)	( 6)	—	—	10
Piolita	43	32	45 ( 3)	—	—	( 5)	—	—	—	( 4)	( 3)	—	( 4)	4
Traquita	6	( 3)	42	—	—	6	—	( 3)	—	( 3)	(14)	( 8)	( 7)	9
Andesita	67	—	—	48	14	3	—	—	—	( 6)	—	( 3)	( 8)	12
Basalto	70	—	—	36	35	—	—	—	—	—	—	( 3)	—	21
Basalto alterado	196	—	—	32	31	—	—	—	—	( 9)	( 4)	—	( 4)	12
Diabasa	29	—	—	44	46	—	—	—	—	—	—	—	( 4)	6
Diabasa alterada	231	—	—	35	26	—	—	—	—	(15)	( 9)	—	( 4)	11
<b>Rocas Sedimentarias:</b>														
Caliza	875	( 6)	—	—	—	—	83	8	—	—	—	—	—	3
Dolomita	331	( 5)	—	—	—	—	11	82	—	—	—	—	—	2
Arenisca	109	79	( 5)	—	—	—	—	—	—	( 4)	—	( 9)	—	3
Arenisca Feldespática	191	35	26	—	—	—	( 3)	—	( 3)	(22)	—	( 4)	—	7
Arenisca Calcárea	53	46	( 3)	—	—	—	42	—	—	—	—	( 3)	—	6
Pedernal	62	93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7 <sup>2</sup>
<b>Rocas Metamórficas:</b>														
Granito Gneis	107	37	35 ( 3)	—	—	18	—	—	—	—	—	—	—	7
Biotita Gneis	62	31	35 ( 5)	—	—	21	—	—	—	—	—	—	—	8
Hornblenda Gneis	48	10	16	15 ( 3)	45 ( 4)	—	—	—	—	—	—	—	—	7
Micasquisto	42	37	16	—	—	38	—	—	—	—	—	—	—	9
Esquisto de Biotita	17	34	13 ( 3)	—	—	41	—	—	—	—	—	—	—	9
Esquisto Clorítico	23	11	—	10	—	( 5)	—	—	—	39	—	28 ( 4)	—	3
Esquisto de Hornblenda	68	10	( 3)	12	—	61	—	—	—	—	—	( 7)	—	7
Amfibolita	22	( 8)	—	6	—	70	—	—	—	—	—	12	—	7
Pizarra	71	29 ( 4)	—	—	—	55	—	—	—	—	—	( 5)	—	7
Cuarcita	61	64 ( 3)	—	—	—	( 4)	—	—	—	—	—	—	—	9
Cuarcita Feldespática	22	46	27	—	—	( 7)	—	—	( 3)	(10)	—	—	—	7
Cuarcita Piraxénica	11	29	19	15	24	—	—	—	—	—	—	( 5)	—	8
Mármol	61	( 3)	—	—	—	—	96	—	—	—	—	—	—	1

<sup>1</sup> Los valores que se muestran entre paréntesis indican otros minerales que no son esenciales para la clasificación de la roca.

<sup>2</sup> Incluye 3% de ópalo.---    <sup>3</sup> Incluye 3% de granate.

mica explotación, sin embargo en las zonas tropicales generalmente pueden contener elevados porcentajes de materia orgánica , limos y arcilla que pueden afectar la calidad del material , por lo cual será necesario un proceso de lavado energético.

Minas. Son depósitos de materiales fragmentados que posteriormente fueron cubiertos por otros. Estas formaciones tienen características similares a la de los depósitos de ríos, pero debido a que están cubiertos por otros materiales se dificulta su explotación.

Arenas y gravas volcánicas. Suelen encontrarse en las faldas de los volcanes y están formadas por : cenizas , basaltos, andesitas y tobas porosas.

Depósitos de playas marítimas y lacustres. Estos agregados sufren una constante clasificación por el movimiento del agua; se depositan en zonas por partículas casi del mismo tamaño, lo cual requiere para obtener un agregado con una granulometría adecuada, se haga necesario mezclar los agregados ubicados en diferentes zonas. En estos agregados debe determinarse los contenidos de sales que dañan los concretos; tales como los cloruros y los sulfatos, al fin de disponer si requieren de algún tratamiento.

Canteras. En estas fuentes de abastecimientos se obtienen agregados por trituración, que generalmente son de buena calidad, pero que deben extraerse de yacimientos parcial o totalmente abiertos, eligiendo zonas de estructura uniforme; debiendo eliminarse rocas foliadas , tales como las pizarras, los esquistos y otras, a fin de evitar que al triturarse produzcan partículas lajeadas o alargadas.

Otro aspecto que es muy interesante , ya que influye en la selección técnica y económica de las máquinas de trituración es conocer la clase de roca que predomina en la región donde se localiza las fuentes de abastecimiento, ya que como se contempló anteriormente por el comportamiento que representan las máquinas de trituración en el proceso de las rocas, éstas se dividen en rocas abrasivas y rocas no abrasivas; por lo que se muestra en la fig. 8 , una carta geológica de la República Mexicana, donde se puede observar las regiones donde se localizan dichas rocas.

## **2.4 DIVERSOS TIPOS DE TRATAMIENTOS**

En la preparación de los materiales se efectúa una serie de operaciones que pueden comprender alguno, algunos o todos los tratamientos señalados a continuación: trituración, cribado y lavado.

### **2.4.1 Trituración**

El material en greña suele venir con elementos de grandes dimensiones que rebasa los tamaños máximos especificados, estos elementos pueden ser tanto grava gruesa, como roca explotada en bancos con empleo de explosivos , frecuentemente resulta conveniente y económico triturar estos tamaños mayores, especialmente cuando el porcentaje del tamaño mayores es muy elevado. En otros casos las piedras sueltas y gravas pueden cumplir con el tamaño máximo requerido, pero no así con la granulometría, entonces hay que darle un tratamiento de trituración para graduar el tamaño del material adecuadamente a las necesidades de las obras civiles.

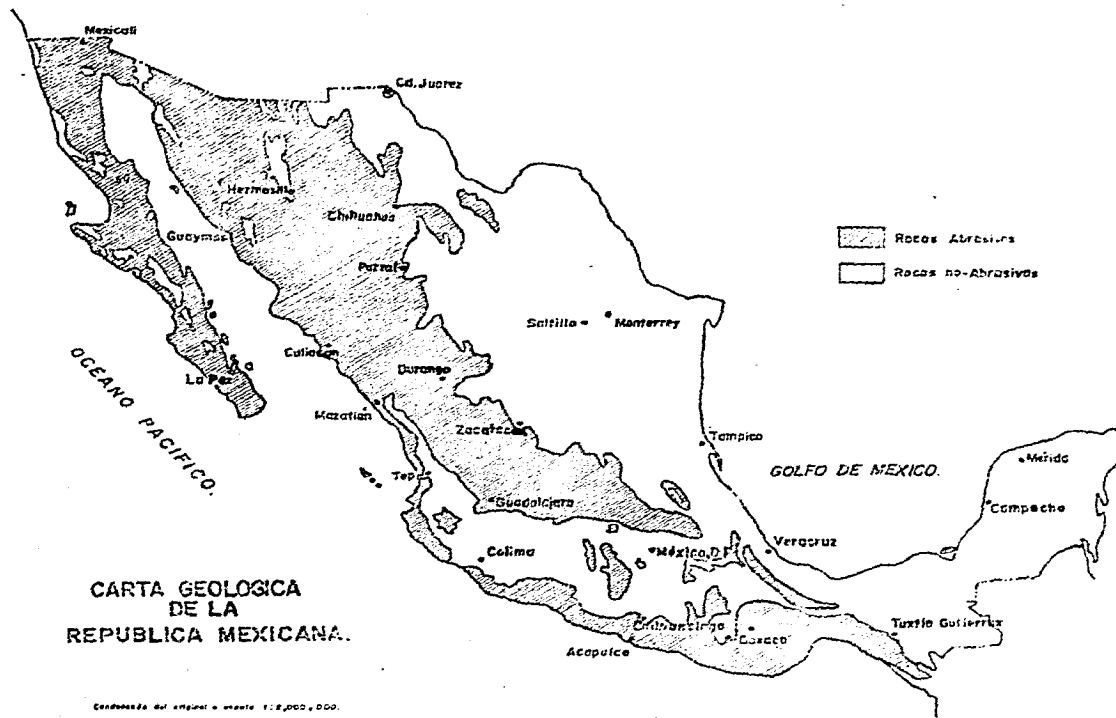


Fig. 8 Carta geológica de la República Mexicana.

Para reducir y uniformar los fragmentos de roca a los tamaños especificados se utilizan las trituradoras, también llamadas quebradoras, éstas son máquinas pesadas de construcción gruesa, que desarrollan su función por medio de efectos mecánicos como: presión, impacto, corte, desgaste o una combinación de estos.

En la actualidad no existe una máquina universal que de un solo paso o etapa ( solo en casos excepcionales ) convierta el material en gréña en un agregado útil , pues deben someterlo a un proceso que generalmente es como un conjunto de máquinas trituradoras, en donde dicha transformación se deberá realizar por pasos o etapas impuestos por las características de los equipos de fragmentación . Las etapas de trituración podemos dividir las en las siguientes, teniendo cada una de ellas su familia de máquinas que de acuerdo con su diseño mecánico les haga esa operación al mínimo costo posible.

**Primera etapa o trituración primaria.** Es la que se encarga de recibir el material tal como lo sacan del banco o pedrera , produciendo la primera reducción en tamaño en el rango que generalmente es entre 4" y 10" aproximadamente. Para esto usamos la familia de trituradoras de quijadas y giratorias.

**Segunda etapa o trituración secundaria.** Esta etapa generalmente se alimenta del material producido por la primera etapa o material de bancos naturales de río, que está en el rango de 4" a 10" y los reduce a tamaños el orden de 1" a 3", utilizando para ello la familia de trituradoras de cono tipo "s" , de rodillos dobles y la de martillos.

En muchos casos con una trituración primaria y una trituración secundaria tendremos garantizado el producto final, como ejemplo podemos citar el balasto que es un material de granulometría de 1.1/2" a 3/4" . Pero cuando el material producido aún es de mayor tamaño que el requerido será necesario darle una tercera trituración

**Tercera etapa o trituración terciaria.** Se alimenta de material de tamaño de una 1" a 4" bien sea producto de una trituradora secundaria o de un banco natural, dándonos un producto comprendido entre 1/4" a 3/4", utilizando para ello trituradoras de cono "FC" ó "SH", rodillos triples, o de impacto. La mayoría de los casos con estas tres etapas ya tenemos solucionado el problema, pero en otros casos como en las obras hidroeléctricas donde se necesitan grandes cantidades de arena, y los bancos de río no dan una arena natural adecuada, o en las cantidades suficientes, se tendrá que producir entonces arena artificial y como la granulometría no coincide con esta etapa, necesitamos otra etapa mayor de reducción.

**Etapa cuaternaria molienda.** En esta etapa el material del orden de 1/4" a 1", lo tendremos que transformar a un tamaño menor de 1/4" o de la malla # 4, para lo cual existen quebradoras como: el cono cuaternario "VFC", los molinos de barras que nos dan una granulometría del orden de malla # 4 hasta malla # 50; o los molinos de bolas, que nos dan una molienda más fina, de tamaño menor de la malla # 50, # 200 y # 300, siendo por esto un elemento indispensable en las fabricas de cemento donde muelen con ellas el clinker.

Queda bien entendido que las cifras de los rangos del material producido en cada etapa están referidos al máximo del producto, pues los materiales de fragmentación dan siempre una proporción más o menos grande de rechazo y productos de tamaños inferiores.

Debemos indicar que ciertas etapas pueden suprimirse cuando las características, tanto del material tratado como el equipo de fragmentación lo autoricen. Además la mayor parte de las instalaciones prevén derivaciones (by-pass) que permiten combinar a voluntad ciertas operaciones.

#### **2.4.2 Cribado.**

El material pétreo localizado en las bancos naturales y pedreras difícilmente se encuentra el máximo del volumen con la granulometría que satisfaga las normas y especificaciones de calidad, ordinariamente hay que darle un tratamiento para corregir las anomalías granulométricas, éste consiste en cribar el material por medio de mallas, para separar las mezclas de partículas de tamaños uniformes en dos o varias granulometrías, para eliminar la piedra de tamaño mayor que el estipulado, y al mismo tiempo eliminar los materiales muy finos e impurezas que ensucian a los agregados.

Puede haber bancos naturales de río o conglomerados que con este proceso de clasificación sea suficiente para producir el agregado con la calidad y en la cantidad deseada. Pero en los casos en que el agregado es insuficiente o la materia prima proviene de una pedrera, será necesario entonces fragmentar los tamaños mayores en una planta de trituración, que

deberá estar complementada por cibras para poder clasificar el producto correctamente. Podemos dividir entonces el proceso de cribado en una planta de trituración en dos fases que son: precribado y cribado

**Precribado.** Es una operación de hameado que se lleva a cabo para quitar de la masa principal de piedra que se va a procesar, aquella que es demasiado grande para entrar a la boca de la quebradora primaria, evitando así que ésta obstaculice la entrada, además el material en greña siempre lleva una cantidad de tamaños pequeños que pueden usarse sin triturarse posteriormente, en estos casos puede ser económico retirar la piedra antes de que llegue a la trituradora primaria, reduciendo así la carga total de la quebradora, permitiendo usar una quebradora más pequeña o aumentando la capacidad global de la planta.

**Cribado.** En toda máquina trituradora se regula la granulometría del material procesado por la misma, tanto limitando el tamaño del material de alimentación, como haciendo los ajustes necesarios y convenientes en las aberturas de descarga de las máquinas. Pero siempre se encuentra presente en toda materia prima un porcentaje mayor o menor de sobre-tamaños y sub-tamaños, reduciendo con esto la carga de trabajo de la respectiva trituradora, evitando así que se dañe el equipo de trituración con las piedras grandes, a la vez que también se podrá ir seleccionado el material que ya cumple con la granulometría.

Cuando así convenga y se tenga la posibilidad, se instalara y operarán las trituradoras secundarias y terciarias en circuito cerrado, con la finalidad de retomar a la cámara de trituración los sobre tamaños que normalmente pasan por la abertura de descarga. Con las instalaciones en



circuito cerrado, se evita la necesidad de instalar una subsecuente y costosa etapa de retritución.

Al separar los sub-tamaños, se clasifican y se envían por medio de las bandas transportadoras directamente a las tolvas o patios de almacenamiento, como producto clasificado. Así las trituradoras operan en rangos alejados de las condiciones de atascamiento, lo que contribuye a mejorar su eficiencia, tanto en calidad como en cantidad de producción, eliminando adicionalmente la sobreproducción de finos.

El cribado generalmente tiene pequeños errores por lo que se da una tolerancia de +/- 5% tanto en sobre-tamaño como en sub-tamaño en agregados pétreos destinados a la construcción de obras.

#### **2.4.3 Lavado de los agregados.**

El cribado tanto como el lavado de los agregados son operaciones que pueden considerarse indispensables cuando se requiere obtener materiales inertes que garanticen la futura calidad de las mezclas que compondrán.

El proceso de lavado consiste en eliminar las impurezas que traen consigo el material en greña y que pueden perjudicar la calidad del agregado. Este proceso puede dividirse en varios métodos donde la cantidad y clase de impureza, así como la cantidad de agua de que se disponga, determina principalmente el procedimiento que debe emplearse.

Los métodos principales son los de aspersión, inmersión, hameado y aire cuando sea polvo o partículas fácilmente desprendibles.

**Aspersión.** Cuando no tenemos problemas de agua, como en el

caso de la explotación de bancos naturales de río donde tendremos la cantidad de agua suficiente, podemos lavar los agregados usando el método de aspersión pudiéndose aplicar en las mismas cribas, que es lo que normalmente llamamos cribado por vía húmeda, consistiendo este en rociar las diversas telas con agua a presión donde el agua sale por los agujeros arrastrando la suciedad y los finos.

**Inmersión.** Aquí la eliminación de las sustancias perjudiciales se hace por medio de la diferencia de pesos, en donde se da un baño de densidad al material, las partes más pesadas caen al fondo, mientras que las de menor densidad remontan a la superficie.

**Harneado.** Cuando no se dispone de una cantidad suficiente de agua para asegurar el lavado de la totalidad del producto tratado, se opera por vía seca en la fase de premachacado, en donde se somete al material a un harnado de limpieza sobre telas finas, eliminando así la mayor parte de los finos e impurezas debiendo lavarse el resto posteriormente.

Se notara que este lavado en dos fases permite una notable economía de agua; el lavado de los agregados liberados de la mayor parte de la suciedad exige menos agua para la totalidad del producto. Esta agua de lavado puede ser recuperada por decantación, lo que permite así mismo recuperar los finos.

## **2.5 CUALIDADES DE LAS ROCAS.**

Como ya se ha señalado anteriormente los agregados se obtienen a partir de la roca por lo que la calidad de los agregados depende de gran parte de la calidad de ésta. Entonces el estudio debe comenzar

desde las rocas, en donde se comprende que no es al tipo de esta lo que importa para producir agregados de buena calidad, si no sus cualidades que debe tener, como son: resistencia a la compresión, dureza, forma y desgaste.

### **2.5.1 Resistencia de la compresión.**

En los diferentes tipos de estructuras en las que intervienen los agregados, podemos ver que estos siempre quedan sujetos a grandes esfuerzos, por lo que es importante considerar el valor de la resistencia de estos materiales, ya que de ésta dependerá la aceptación definitiva o el rechazo de los agregados que se pretendan usar. Un valor alto de su resistencia les permite soportar las altas cargas a que se someten, mientras que un valor bajo pondrá en duda la calidad del agregado o de la mezcla que compondrán, así como la seguridad de la estructura que formarán.

La resistencia de la roca depende de su composición, textura, estructura, y tamaño de los granos, por ejemplo una arenisca de grano fino es más resistente que una de grano grueso en las rocas ígneas y en las rocas metamórficas dependen del entrelazamiento de los cristales siendo mayor su resistencia a mayor entrelazamiento de los cristales y en las rocas sedimentarias depende esta resistencia del tipo de cementante ya que es mayor la resistencia si el tipo del cementante es sílice y menor si es arcilla; otros factores que determinan la resistencia de las rocas son la fractura, su estratificación y su grado de saturación.

La resistencia a la compresión se determina en el laboratorio calculando el esfuerzo necesario para romper una probeta o bloque de

sección y alturas especificadas, sometiéndolas a una carga axial "P" y no estando la probeta contenida por sus lados, pudiéndose obtener por la formula siguiente:

$$T = P/A$$

donde:

T: es la resistencia a la compresión, expresada en kgs. por cm<sup>2</sup>.

P: carga axial, expresada en kgs.

A: sección de la muestra en cm<sup>2</sup>.

La muestra debe ser un trozo suficientemente grande y que represente la calidad petrográfica del material.

El resultado de una prueba en una roca, puede estar afectando por planos débiles en la roca y hay por lo tanto, alguna duda del valor de esa prueba, sobre todo porque la debilidad de la roca puede ser significativa una vez que esta ha sido reducida al tamaño a usar. Por lo tanto es conveniente hacerle una prueba de resistencia a la compresión al agregado para medir su calidad, sirviéndonos la prueba de resistencia hecha a la roca como una primera guía cuando se esta estudiando algún nuevo banco de rocas.

### **2.5.2 Dureza**

Existen varios criterios de dureza, pero para el caso del estudio de los materiales pétreos, el más conveniente es el criterio de Mohs.

La escala de Mohs, es uno de los sistemas mejor conocido y más

antiguo para la comparación de la dureza, siendo muy utilizada en mineralogía para clasificar cualitativamente la dureza de éstos. Recordaremos que en esta escala de diez términos, cada cuerpo puede rayar a los minerales que tienen valores más bajos y que a su vez pueden ser rayados por los que tienen valores mayores, estos grados de valores son los siguientes:

- 1.-Talco
- 2.-Yeso
- 3.-Calcita
- 4.-Purita
- 5.-Talpita
- 6.-Ortoclasa
- 7.-Cuarzo
- 8.-Topacio
- 9.-Corindón
- 10.-Diamante

Podemos usar objetos naturales, que pueden servir como una guía en una primera exploración para conocer el índice de dureza de los materiales, como: la presión del dedo sobre el material, si éste ha dejado su huella marcada se dice que el material tendrá dureza de uno, que es la del talco; la uña tiene dureza igual a 2.5, así que puede rayar al yeso, o si rayamos cualquier otro material con la uña diremos que tendrá una dureza menor de 2.5; una moneda de cobre tiene dureza igual a 3, por lo que todo el material que se deje rayar por esta tendrá dureza menor de 3, una hoja de

navaja o un pedazo de vidrio de ventana, tienen un grado de dureza de 5.5 y 6 respectivamente, que es precisamente la frontera de un material abrasivo o no abrasivo.

### **2.5.3 Forma**

Además de las propiedades petrológicas del agregado, las características externas son muy importantes, en particular la forma del agregado.

Al observar los agregados pétreos encontraremos varias formas que las podemos clasificar cualitativamente, siendo las más comunes las siguientes; la redondeada, angulosa, sub-angulosa, sub-redondeada y laminar.

La forma de los agregados dependen de varios factores, siendo los siguientes los más importantes. En los agregados naturales se origina la redondez por la acción de los agentes mecánicos desintegradores y solo excepcionalmente corresponde a partículas que hallan sufrido algún ataque químico. El grado de la redondez será según la intensidad y lapso con que estos agentes mecánicos hallan actuado. También depende en gran medida la forma de las partículas, a la dureza, resistencia a la abrasión, la estratificación y clivaje de la roca de que provienen, un ejemplo lo podemos ver en las partículas que son arrastradas por las corrientes fluviales o aéreas, que al chocar estas entre sí o con otros objetos, se fragmentaran algunas mientras que las más duras sólo se pulimentaran y redondearan sus aristas y vértices. En el caso de los agregados triturados dependerá del tipo de quebradora y de la relación de reducción que se

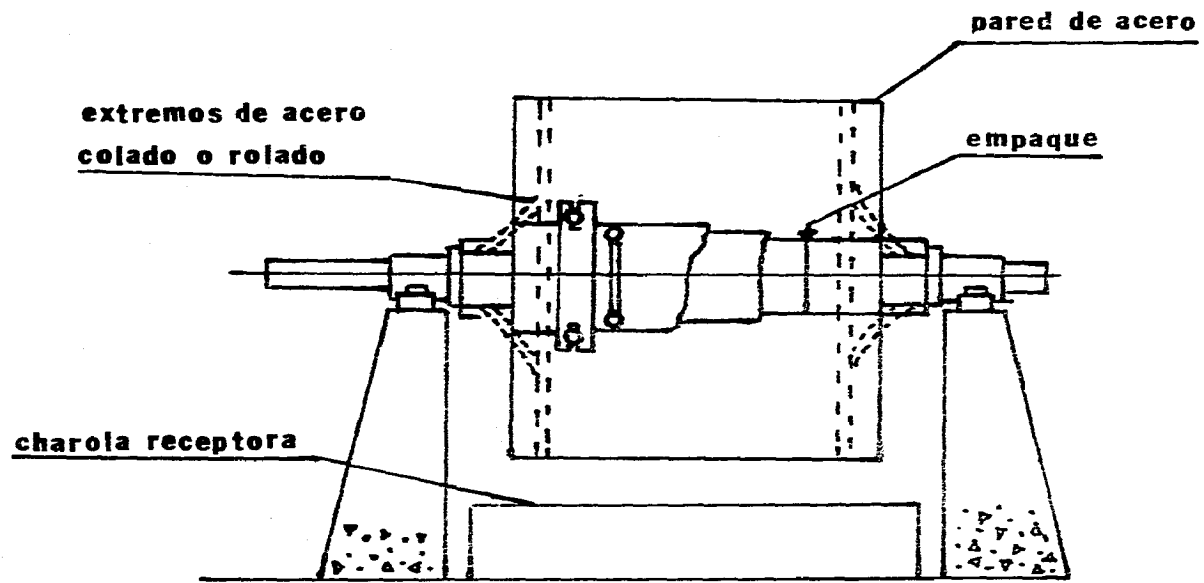
utilice, así como también en gran parte de la naturaleza de la roca original, ya que hay rocas como los esquistos que son muy estratificadas y tienden a dar más formas de tipo laminar que otras rocas.

#### **2.5.4 Desgaste.**

Para que un material granular grueso sea satisfactorio para desarrollar su función, es necesario que tenga suficiente tenacidad para resistir la acción de las cargas a que es sometido, sin que sufra fractura bajo la carga impuesta. La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado. Esta característica es esencial cuando el agregado se va a utilizar sólo o con alguna mezcla, correspondiente a algún elemento que queda sujeto a desgastes, como es el caso de los pavimentos y pisos para servicio pesado.

Los ensayos normales para determinar el porcentaje de desgaste son: el Deval y el de los Angeles, siendo éste último el más usado porque da una mejor indicación del comportamiento del agregado bajo la acción de la carga rodante.

Máquina de los Angeles. Como se observa en la fig. 9, consiste en un cilindro de acero hueco y cerrado en sus dos extremos, tiene una abertura para introducir la muestra de prueba y una tapa hermética que evita la pérdida de polvo, el cilindro está montado en espigas pegadas a los extremos de tal manera que pueda girar con su eje en posición horizontal, con una tolerancia de inclinación de 1 en 100. La carga abrasiva debe ser de esferas de acero con diámetro promedio de 45 mm. y cada una con una masa de 390 y 445 grs. La muestra debe prepararse de modo que sea



*Fig. 9- Máquina de los ángeles*



representativa del lote de entrega y debe lavarse antes y después de la prueba.

Procedimiento. Se introduce la muestra y la carga abrasiva en la máquina de los ángeles, se gira ésta a una velocidad de 30 a 33 r.p.m. durante 500 revoluciones. Al terminar el ciclo de revoluciones, se descarga el material y se criba por un tamiz del # 12 (1.68 mm.). La diferencia en peso del inicial y del material retenido en el tamiz, expresado en tanto por ciento nos da el coeficiente de desgaste ( los ángeles).

## CAPITULO III

### EQUIPOS DE TRITURACION

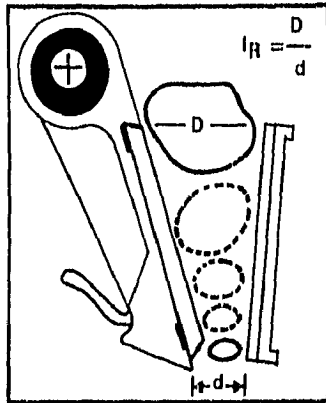
Para decir cual es el equipo de trituración apropiado para resolver un determinado problema de producción de agregados, es necesario considerar la naturaleza de la roca, tipo de alimentación, granulometría del material procesado, así como el trabajo idóneo para cada tipo de trituradora, para poder entonces hacer una selección del equipo técnica y económicamente válida.

Dos de los conceptos básicos que definen el comportamiento y campo de aplicación de los diferentes tipos de quebradoras son: índice de reducción y coeficiente de forma.

Índice de reducción . Se suele designar como índice de reducción a la razón geométrica resultante de dividir la distancia entre los elementos de trituración de una cámara por su parte superior, entre la distancia de tales elementos por su parte inferior en la abertura de descarga de la misma. Para objetivizar más esta definición, se representará por una máquina cualquiera, por ejemplo la quebradora de quijadas, que es de un esquema sencillo ( ver fig. 10 ), una roca con la cual se alimenta de un tamaño "D", que depende de sus dimensiones de su boca de admisión, y de

acuerdo con la regularización de su abertura de salida podemos reducir la roca a un tamaño "d", y nos quedará expresado de la siguiente manera:

$$I_r = D/d$$



*Fig. 10- Esquema de una trituradora de quijadas que muestra el índice de reducción de una roca.*

Por ejemplo, una máquina que tenga un índice de reducción máximo de 8 a 1, quiere decir, que si la estamos alimentando con una piedra de tamaño igual a 32 pulgadas, el tamaño mínimo "d" que podemos esperar aquí será:

$$d = D/I_r$$

$$d = 32/8$$

$$d = 4 \text{ pulgadas}$$

El índice de reducción de cada máquina, es lo aconsejable para dejarla trabajar y obtener su operación dentro de los límites económicos; esto no significa que no se pueda superar ese índice de reducción, pero si

tratamos de obtener un tamaño menor del recomendado, la capacidad de producción puede bajar mucho, y los desgastes al igual que el costo aumentarán, por lo tanto, son recomendaciones que tienen en vista la economía y trabajabilidad de la operación.

En todas estas máquinas los índices de reducción máximos recomendados difieren, porque cada una de ellas tiene un diseño mecánico que aplica determinados efectos a la roca.

En la tabla 3, se dan los índices de reducción máximos para algunas máquinas clasificándolas de acuerdo a la etapa de trituración en la que intervienen, donde también se observan los métodos de reducción que están presentes en cada uno de los tipos de quebradoras.

**Coefficiente de forma.** Es el grado de esfericidad de una partícula en donde se ha introducido el coeficiente de forma. Las partículas siempre tienen formas irregulares, por lo que para determinar el coeficiente de forma, se toma la dimensión mayor (ver fig. 11), que se mide y se designa por "L", el volumen de la partícula se expresa por "v" y se representa con "V" al volumen de una esfera cuyo diámetro sea "L", entonces el coeficiente de forma que nos mide su grado de esfericidad se expresa por "cf", y su valor estará dado por la relación:

$$cf = \frac{v}{V} = \frac{v}{(L^3)/6}$$

Obteniéndose de la aplicación de dicha fórmula, los valores promedios siguientes, en los fragmentos más comunes:

**Tabla 3-. Indices y métodos de reducción de algunas quebradoras.**

ETAPA	TIPO DE QUEBRADORA	METODO DE REDUCCION	INDICE DE REDUCCION
1. Trituración Primaria	Giratoria	Impacto y compresión	8 a 1
	Quijadas	Impacto y compresión	8 a 1
2. Trituración secundaria	Conos S	Impacto y compresión	10 a 1
	Rodillos dobles	Corte y compresión	3 a 1
	Martillos	Impacto y desgaste	20 a 1
3. Trituración terciaria	Conos FC o SH	Impacto y compresión	10 a 1
	Rodillos triples	Corte y compresión	6 a 1
	Impacto	Impacto	30 a 1
4. Trituración cuaternaria o molienda	Conos VFC	Impacto y compresión	6 a 1
	Molinos de barras	Impacto	15 a 1
	Molino de bolas	Impacto	15 a 1

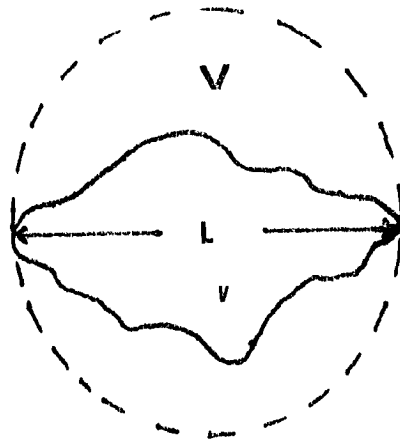


Fig. 11- Coeficiente de forma

<b>Formas del Fragmento</b>	<b>Valor del Coeficiente de forma</b>
Esfera perfecta	1
Cúbico	0.37
Tetraedo regular	0.22
Grava natural del río	0.30 a 0.40
Grava Triturada	0.15 a 0.10
Lajas	0.05 a 0.10
Agujas	menor de 0.05

A continuación se expondrá la variedad de equipos de trituración, utilizados hoy en día en la producción agregados pétreos, conforme a la etapa en la que intervienen.

### 3.1 PARA PRODUCCIÓN PRIMARIA

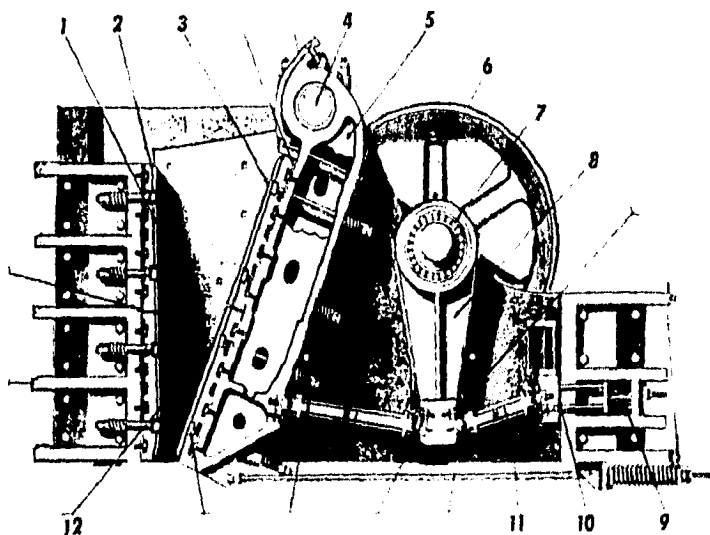
Las familias de máquinas más comunes para la trituración primaria son las quebradoras de quijadas y giratorias, que se describen a continuación.

#### 3.1.1 Trituradoras de quijadas

Las trituradoras de quijadas son las máquinas más comúnmente empleadas en la etapa de trituración primaria. Trabajan permitiendo que la piedra fluya hacia las quijadas, una de las cuales es fija, mientras que la otra es móvil. La distancia entre las quijadas disminuye a medida que la piedra desciende por efecto de la gravedad y de la quijada móvil, hasta que al final pasa por una abertura inferior. La quijada móvil es capaz de ejercer una presión lo suficientemente alta para triturar la roca más dura. Las quebradoras de quijadas a su vez cuentan con varios tipos como las siguientes:

**La trituradora de quijadas "doble togle" o "blake" (fig. 12).** Es la más antigua, apareció por el año 1860 originando en seguida otras muchas, semejantes entre si desde el punto de vista mecánico.

Comprenden en su forma clásica un bastidor rígido formado de dos placas laterales unidas, sobre este bastidor se fija una quijada que esta dispuesta en forma de V con otra quijada móvil, que esta articulada en su parte superior a una flecha que oscila entre las placas laterales del bastidor. La quijada móvil se compone por una caja chumacera (o porta-quijadas) y una placa de revestimiento .



*Fig. 12- Trituradora de quijadas del tipo  
Blake, con doble articulación*

- |                                      |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Cámara de Trituración             | 2. Placa de revestimiento de la |
| 3. Placa de revestimiento de la      | quijada fija                    |
| quijada móvil                        | 4. Flecha fija                  |
| 5. Caja Chumacera de la quijada.     | 6. Volante de la máquina.       |
| 7. Flecha excéntrica.                | 8. Biela.                       |
| 9. Control hidráulica de la abertura | 10. Placas de ajuste.           |
| de la trituradora                    | 12. Placa Lateral.              |
| 11. Armadura de la máquina.          |                                 |



La operación de trituración se efectúa haciendo girar la flecha excéntrica que hace subir y bajar la biela, que trasmite el movimiento a la quijada por medio de dos placas articuladas. Una de las placas esta prevista para servir como seguro de ruptura contra las sobre cargas, debido a la introducción accidental de cuerpos no triturables, como pueden ser: dientes de cucharón, pedazos de marro o martillos, etc., de no existir este seguro, los cuerpos pueden ocasionar esfuerzos que llegan a originar la ruptura de la flecha, que seria un grave daño y una gran perdida de tiempo; entonces al introducirse ese elemento no triturado se rompe la placa o togle ( que es una pieza débil), por lo que se abate la quijada móvil dejando pasar ese elemento sin ocasionar mayores daños más que, el de sustituir esa pieza inmediatamente.

Un sistema de tirantes con resortes asegura la distancia constante de las placas. A cada extremo de la flecha excéntrica se encuentra fijo un volante de inercia con masas de equilibrio, uno de ellos, habitualmente ranurado sirve para la transmisión , por correas trapezoidales, de la fuerza motriz.

Los diversos cojinetes son lisos o de rodillos, la lubricación esta asegurada por gravedad o bajo presión con bomba de aceite y distribuidor.

Las placas de las quijadas, están fabricadas de acero al manganeso para resistir el desgaste de la abrasión, y son reversibles e intercambiables para darles un mejor aprovechamiento, ya que siempre tiene mayor desgaste la placa ( o muela) de la quijada móvil que de la fija, y ambas se desgastan más en la parte inferior. Las quijadas podrán ser lisas,

pero en el caso en que la piedra tiende a partirse en forma de lascas, pueden utilizarse las placas acanaladas para reducir el lamiendo.

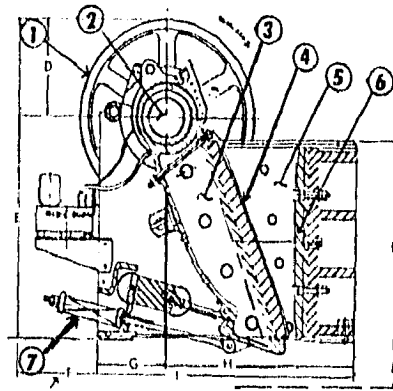
El reglaje de la separación inferior de las quijadas se efectúa generalmente por placas colocadas detrás de la guía de apoyo y la quijada, o por regularización hidráulica.

Este tipo de doble articulación es preferido generalmente en instalaciones fijas, por ser máquinas muy grandes y pesadas, utilizándose fundamentalmente para trituración de minerales extremadamente duros y abrasivos, por lo que se emplea más en la industria de la minería que en las obras civiles.

**Quebradora de quijadas de " simple togle" o " simple biela" con flecha superior excéntrica.** Esta máquina que se ilustra en la fig. 13, se caracteriza porque la quijada se encuentra articulada directamente sobre la flecha excéntrica que esta colocada por encima de la boca de la quebradora; por lo que de hecho es la propia quijada oscilante la que hace las veces de biela ( o pitman ). El desplazamiento de la parte inferior de esta pieza está controlado por una simple placa de articulación o togle, que tiene doble función, una de servir de articulación inferior , y otra la de servir de pieza de seguridad para el caso en que por accidente se introduzca un cuerpo no triturable, por esta misma razón es aconsejable tener siempre un stok revolvente de dos o tres togles, para que inmediatamente que se rompa uno se le cambie con una mínima pérdida de tiempo.

Cuando se hace girar la flecha excéntrica, le da a la quijada móvil un movimiento combinado horizontal-vertical.

- 1- Volante de la máquina
2. Flecha excéntrica
3. Biela - quijada móvil
4. Placa de revestimiento de la quijada
5. Cámara de trituración
6. Quijada fija
7. Regulación hidráulica de la  
abertura de salida



*Fig. 13- Corte longitudinal de la quebradora  
de quijadas de "simple toggle"*

Este tipo de quebradora se diseñó por el año de 1915, y en la actualidad se utiliza con mucha frecuencia en las plantas fijas, semi-fijas y portátiles debido a su tamaño compacto, a su peso ligero, y a su construcción razonablemente sólida, teniendo la ventaja de ser más barata y de poseer un mecanismo menos complicado que la de "doble toggle" o "blake", aunque por otra parte, para un mismo tamaño nominal su rendimiento es inferior comparado con este tipo de trituradora.

Tamaños y rendimientos. Convencionalmente los fabricantes de trituradoras de quijadas designan el tamaño nominal de las mismas, de acuerdo a sus aberturas de alimentación o recepción; así por ejemplo, una trituradora de 44" X 48" tiene una abertura entre quijadas de 44", y sus respectivas quijadas un ancho de 48". Es conveniente que la abertura de las quebradoras de quijadas tengan una abertura superior de cuando menos dos

pulgadas más que el tamaño máximo de la piedra con que se valla a alimentar.

Otra convención generalizada por todos los fabricantes de trituradoras, es expresar la producción o rendimiento de las mismas, en toneladas cortas de 907 Kgs. por hora., para un material estandar con peso promedio de 1500 Kgs. por metro cúbico.

En la tabla 4, se consignan las especificaciones y rendimientos promedios correspondientes a las trituradoras de quijadas de "simple togle", para diversos valores de abertura de descarga, medidos al final de la carrera de cierre de la quijada, los que son promedio estadísticos, basados en una alimentación continua ininterrumpida no controlada, lo que presupone que la trituradora se encontrara equipada con un alimentador mecánico adecuado. Posteriormente a la tabla se observa en la fig. 14 las tablas granulométricas del producto triturado.

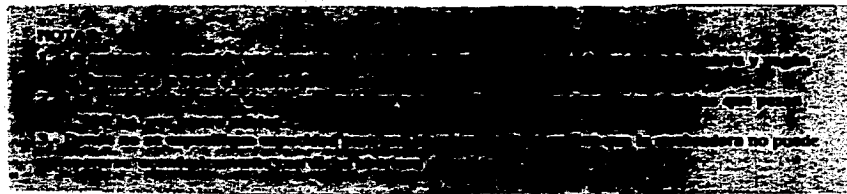
En la tabla 5, se consignan rendimientos representativos de trituradoras de quijada del tipo "blake", los cuales son valores promedio estadísticos basados en máquinas con alimentación continua sin interrupciones , por lo que de hecho son rendimientos instantáneos.

### **3.1.2 Trituradoras giratoria.**

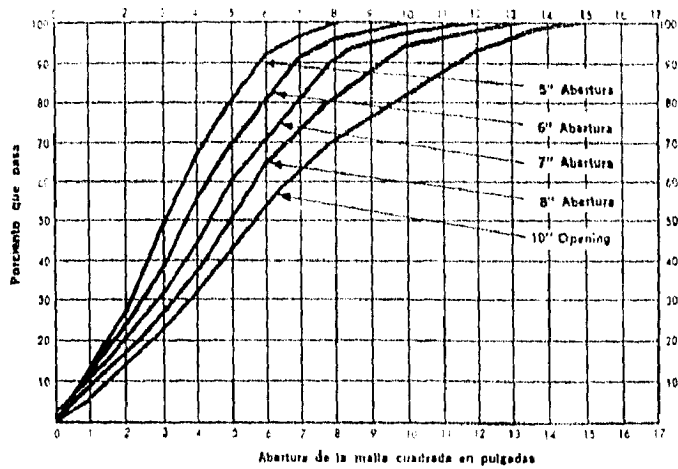
Es otra familia de máquinas empleada en la etapa de trituración primaria, como puede apreciarse en la fig. 15, basicamente están formadas por un bastidor de acero fundido que en su parte superior tiene las formas de un cono invertido revestido interiormente por unas placas de acero al manganeso llamadas cóncavos, las que son reemplazables e intercambia-

Tabla 4. Capacidades de las trituradoras de quijadas de simple togle

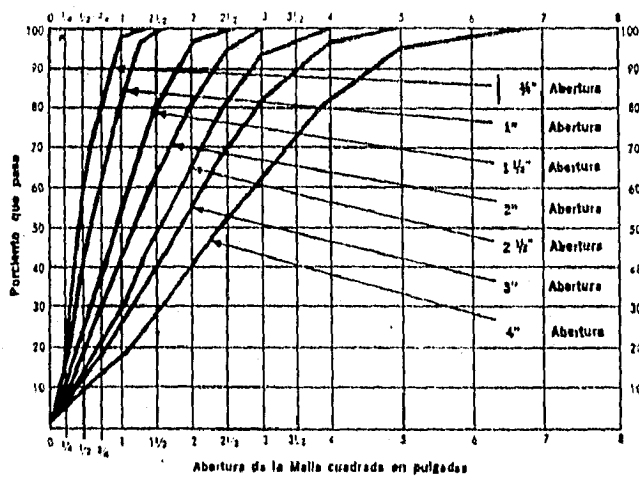
Tamaño	10x16	10x21	10x30	12x36	15x24	15x38	20x36	25x40	30x42	36x46	44x48	50x60
Capacidad en ton/s una abertura de salida de:												
1/2"	4.4	5.7										
3/4"	6.8	7.10	11.50	18.27								
1"	8.11	9.13	17.25	23.33	17.25							
1 1/2"	10.15	15.20	23.34	29.43	25.35	28.57						
2"	14.20	19.26	29.43	36.56	30.46	48.72	45.45					
2 1/2"	17.25	22.33	35.52	43.65	37.55	57.88	58.105					
3"				50.75	43.65	67.100	70.125	110.180				
3 1/2"						78.114	80.145	125.210	140.270			
4"							80.165	140.225	160.240	200.300		
5"								115.300	170.270	190.285	240.380	300.450
6"									140.240	200.350	220.330	280.470
7"										165.260	225.375	245.385
8"											190.430	250.480
8 1/2"												285.585
9"												
10"												
11"												
12"												
13"												
14"												
15"												
16"												
Palabra Clave:												
	JAB05	JAC01	JAG02	JAG27	JAH08	JAT01	JAV09	JAW08	JAZ08	JAZ08	JAZ08	JOB01
* Capacidad con togle corto												



**A. Para aberturas de salida desde 5" hasta 10"**



**B. Para aberturas de salida desde 3/4" hasta 4"**



*Fig. 14- Análisis granulométrico del producto de las quebradoras de quijadas de simple efecto.*

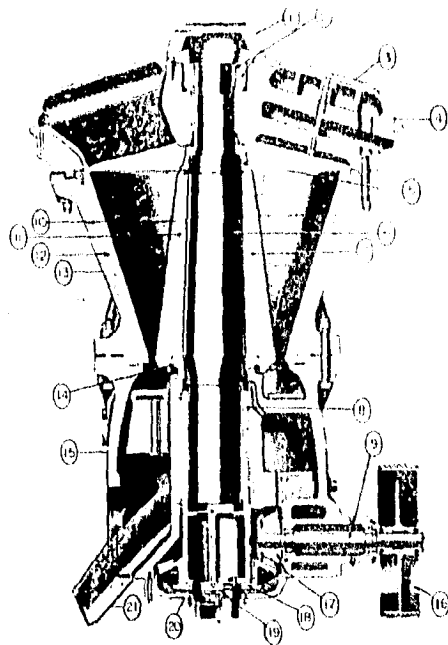
**Tabla 5. Rendimientos de las trituradoras de quijadas del tipo "Blake", expresadas en tons. cortas por hr. ( \* )**

TAMAÑO DE LA TRITURADORA, EN PULGADAS.	POTENCIA EN H.P.	AJUSTE DE LA ABERTURA DE DESCARGA (PULGADAS).										
		1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	7	8	9
10 x 16	15	11	16	20								
10 x 20	20	14	20	25	34							
15 x 24	30		27	34	42	50						
15 x 30	40		33	43	53	62						
18 x 36	60		46	61	77	93	125					
24 x 36	75			77	95	114	150					
30 x 42	100				125	150	200	250	300			
36 x 42	115				140	160	200	250	300			
36 x 48	125				150	175	225	275	325	375		
42 x 48	150				165	190	250	300	350	400	450	
48 x 60	180					220	280	340	400	450	500	550
56 x 72	250						315	380	450	515	580	640

(\*) Los rendimientos consignados en esta Tabla están sujetos a variaciones del orden de 25% -- (variación por ciento) en más o en menos, dependiendo de las propiedades del material triturado

bles, formando la llamada cámara de trituración, dentro de la cual se encuentra alojado un robusto cabezal revestido con acero de manganeso, llamado cabezal de trituración o cono giratorio, el cual se encuentra montado sobre una flecha vertical de acero. El cabezal y su flecha se encuentran suspendidos por su parte superior del cubo de la llamada "araña" de la trituradora, en forma tal que se les puede hacer subir y bajar para ajustar la abertura de la descarga de la máquina; por su parte inferior la flecha del cabezal se apoya sobre una chumacera excéntrica, y el movimiento giratorio lo es transmitido por una flecha motriz horizontal engranada por medio de un piñón al excéntrico de la máquina trituradora, ocasionado el giro del eje y de la cabeza trituradora haciendo variar así la amplitud entre las concavidades y la cabeza.

A medida que la piedra de que se alimenta en la parte superior



- |    |   |    |   |
|----|---|----|---|
| 1  | Cubierta de la araña                    | 11 | Cuerpo central del cabezal              |
| 2  | Tuerca de ajuste y collar (con soporte) | 12 | Cámaras de la cámara de trituración     |
| 3  | Cubierta del brazo de la araña          | 13 | Armadura superior                       |
| 4  | Brazo de la araña                       | 14 | Seto contra peso fabricado por gravedad |
| 5  | Tuerca del cabezal                      | 15 | Armadura principal                      |
| 6  | Flecha principal                        | 16 | Polea                                   |
| 7  | Cabezal triturador de una sola pieza    | 17 | Piñón y engrane de acero colado         |
| 8  | Chumacera excéntrica                    | 18 | Placa de desgaste                       |
| 9  | Contraflecha o eje matriz               | 19 | Banija de aceite de fijo positivo       |
| 10 | Revestimiento del cabezal triturador    | 20 | Placa de fondo                          |
|    |   | 21 | Canaleta de descarga                    |

*Fig. 15- Trituradora giratoria de tipo "Superior Mc Cully"*

de la cámara trituradora, se mueve hacia abajo por gravedad, sufre una reducción en tamaño hasta que finalmente pasa a través de la abertura prevista en la parte inferior de la cámara.



La llamada "araña" de las trituradoras giratorias, es un elemento constructivo cuya finalidad es aumentar la rigidez de la armadura principal, así como servir de soporte o guía del extremo superior de la flecha vertical del cabezal respectivo.

Convencionalmente los fabricantes designan el tamaño nominal de una trituradora giratoria, por su respectivo ancho en su abertura de alimentación, medido entre la superficie de los cóncavos y la del cabezal. El ajuste de abertura de descarga se mide también entre los cóncavos y el cabezal triturador, por la parte inferior extrema de la cámara, y se habla de ajuste en posición abierta o ajuste en posición cerrada, según que el cabezal en sus respectivas carreras se encuentre en su posición más cercana o más alejada con respecto a la superficie de los cóncavos en un plano vertical determinado, transversal a la cámara de trituración.

Su selección queda primordialmente gobernada por el tamaño de la roca de alimentación o por la capacidad del cucharón de las excavadoras. En la tabla 6, se consignan rendimientos estadísticos promedio que corresponde a trituradoras giratorias equipadas con tres tipos alternativos de cóncavos, eligiendo estos en consideración, tanto de la granulometría del material de alimentación, como la requerida para el material procesado.

Este tipo de máquinas que tiene la facultad de producir grandes cantidades de material, son de tamaños muy grandes y pesadas, por lo que prácticamente no se utilizan en los grupos móviles, y son muy poco utilizadas en el campo de las obras civiles, empleándose normalmente en instalaciones mineras y cementeras de elevadas cantidades de producción.

Tabla 6. Rendimientos promedio trituradoras giratorias  
 " SUPERIOR MC-CULLY " expresadas en ton. cortas por hr. (\*)

TAMAÑO NOMINAL (pulgadas)	POTENCIA EN H.P.	AJUSTE DE LA ABERTURA DE DESCARGA (ABIERTA), EN PULGADAS .												
		$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5
REVESTIMIENTO CON CONCAVOS RECTOS														
8	15 a 25			30	36	41	47							
10	25 a 40				40	50	60							
13	50 a 75						85	100	120	133				
16	60 a 100									160	185	210		
20	75 a 125										200	230	255	
30	125 a 175											310	350	390
42	200 a 275													500
REVESTIMIENTO CON CONCAVOS RECTOS MODIFICADOS														
8	15 a 25			35	40	45								
10	25 a 40				54	60	65							
13	50 a 75							95	112	130				
16	60 a 100									160	172	195		
20	75 a 125										182	200	220	
30	125 a 175											340	370	400
42	200 a 275													607
REVESTIMIENTO CON CONCAVOS INATASCABLES														
8	15 a 25	30	33	42	46									
10	25 a 40			51	57	63	69							
13	50 a 75			79	87	95	103	111						
16	60 a 100					107	118	128	140	150				
20	75 a 125						155	169	184	198	220	258	285	310

(\*) Rendimientos sujetos a variaciones del orden de 25% (veinticinco por ciento) en más o en menos, de acuerdo con la clase de material triturado. Los valores corresponden a una alimentación continua sin interrupciones, de un material con peso de 2,700 libras por yarda cúbica. (Allis Chalmers de México, S.A.).

### 3.2 PARA PRODUCCIONES SECUNDARIAS Y TERCIARIAS.

El producto de la trituración primaria se compone de un conjunto de partículas de distintos tamaños, llevando normalmente un

porcentaje máximo del volumen de los agregados con dimensiones mayores de los requerimientos granulométricos especificados, lo que hace que el producto de esta etapa de trituración sea raramente utilizado en este estado. Generalmente se continua el proceso llevando el material de mayor tamaño que el requerido a otra máquina, en donde continua el proceso de reducción.

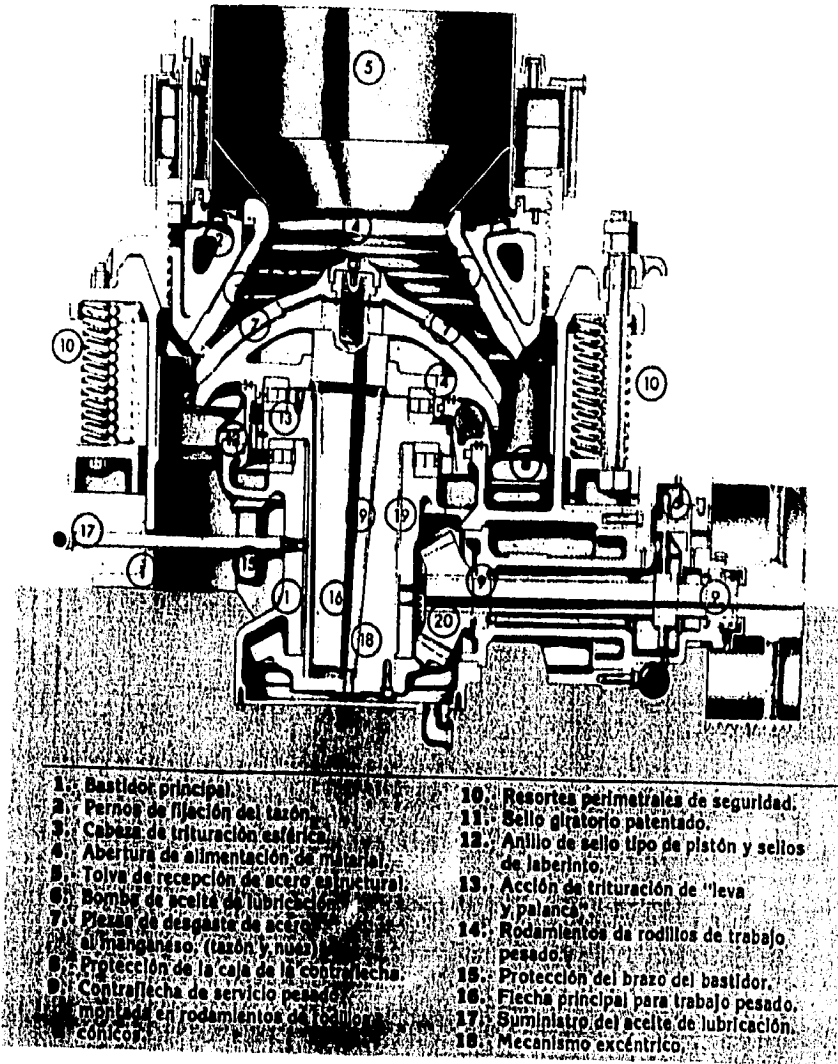
Cuando se ha llevado el material pétreo a otra máquina, para darle una segunda reducción, se dice que es una trituración secundaria.

Existen varios tipos de máquinas para realizar la trituración secundaria, pero de ellas las más comunes usadas en construcción son las trituradoras de cono tipo "S", rodillos dobles y las de martillos.

Cuando en esta segunda reducción el material producido, aun no a cumplido con los requerimientos de tamaño, se continuara el proceso aplicándole una tercera reducción guiando el material a otra máquina clasificada en los equipos terciarios, de las cuales las más comunes son las siguientes: trituradoras de cono tipo "FC", de rodillos triples y de impacto, que como veremos más adelante son variantes de los equipos secundarios, adaptadas con dispositivos que pueden dar un material pétreo de menor tamaño.

### **3.2.1 Trituradoras de cono.**

Las quebradoras de cono (fig. 16), son máquinas muy robustas de elevadas capacidades de producción y mantenimientos bajos, su diseño particular las hace adaptables tanto para instalaciones fijas, como para plantas portátiles. Se utilizan basicamente en las etapas secundarias, terci-



- |  |   |
|--|---|
| 1. Bastidor principal.   | 10. Resortes perimetrales de seguridad.                   |
| 2. Pernos de fijación del tazón.   | 11. Sello giratorio patentado.                            |
| 3. Cabeza de trituración esférica.   | 12. Anillo de sello tipo de pistón y sellos de laberinto. |
| 4. Abertura de alimentación de material.                                       | 13. Acción de trituración de "leva y palanca".            |
| 5. Tolva de recepción de acero al mangano.                                     | 14. Rodamientos de rodillos de trabajo pesado.            |
| 6. Bomba de aceite de lubricación.   | 15. Protección del brazo del bastidor.                    |
| 7. Piezas de desgaste de acero al mangano. (tazón y nudo).                     | 16. Flecha principal para trabajo pesado.                 |
| 8. Protección de la caja de la contraflecha.                                   | 17. Suministro del aceite de lubricación.                 |
| 9. Contraflecha de servicio pesado montada en rodamientos de rodillos cónicos. | 18. Mecanismo excéntrico.                                 |

Fig. 16- Trituradora de cono tipo "S".

rias y cuaternarias ( que veremos en su respectiva etapa de trituración) de todo tipo de rocas y minerales; podemos decir que estas quebradoras son una variante de las trituradoras giratorias con las siguientes diferencias y ventajas sobre otras quebradoras que las hacen favoritas de los productores de agregados pétreos, contratistas de obras civiles y mineras.

La abertura de alimentación o recepción, es muy reducida de la correspondiente a una giratoria.

Gracias al diseño de la cámara de trituración y del correspondiente cabezal, es posible lograr aberturas de descarga mucho más pequeñas comparativamente con las trituradoras giratorias.

La acción de la "leva y palanca" ayuda a reducir la potencia requerida, además dicha acción produce partículas con mejor coeficiente de forma y disminuye el desgaste del tazón y la nuez, alargando la vida de duración de las piezas, dando como consecuencia una operación más económica .

El cono de la máquina se encuentra montado sobre una flecha vertical excéntrica balanceada la cual provoca el movimiento en ambos tipos de trituradoras de cono, "S" ( secundarias) y "FC" ( terciarias),este excéntrico esta montado sobre rodamientos de rodillos, sello giratorio y engranajes de corona y piñón.

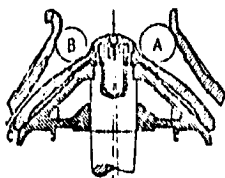
El sistema hidráulico de lubricación de la trituradora, se encuentra conectado por medio de ductos a un acumulador hidráulico exterior, a su vez accionado por un pequeño motor, que se controla por medio de la manipulación de botones y palancas.

Estas trituradoras cuentan con una protección contra la introducción accidental de elementos no triturables, que consiste en unos resortes perimetrales que operan de la siguiente manera; en el instante en que se introduce algún elemento metálico, cae entre la nuez móvil y el tazón fijo, entonces los resortes perimetrales se comprimen elevándose la estructura superior junto con el tazón para acomodar el elemento no triturable, aumentando con esto la abertura de salida, el movimiento de la nuez continúa y sigue atacando a la pieza no triturable pero el espacio mayor permite pasar a la pieza a través de la cámara de trituración sin ocasionar mayores daños.

El tamaño de las quebradoras de cono se designa por el diámetro inferior de dicho cono. En la tabla 7 se consignan las capacidades de producción de trituradoras de tipo "S" y "FC", estas capacidades son promedio de producciones máximas y mínimas, estando basadas en trituración de roca o mineral limpio y seco de 1500 kilogramos por metro cúbico de peso volumétrico y de 2.6 de gravedad específica. Posteriormente a estas tablas se observan en la fig. 17 las curvas granulométricas del producto triturado.

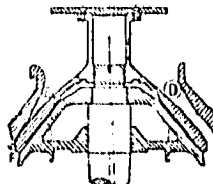
Las trituradoras de cono, al igual que todas las empleadas en etapas secundarias y terciarias, para rendir su eficiencia máxima, tanto en capacidades como en calidad y granulometría del producto, deberán instalarse en circuito cerrado con las correspondientes cribas en la planta, a fin de separar los subtamaños por una parte y de retornar a la cámara de trituración el porcentaje de sobre tamaño, el cual, según el tipo de alimentación suele ser de 15 al 30%. Consecuentemente al tratarse de

**Tabla 7 Capacidades de producción de las quebradoras de conos tipo "S" Y "FC".**



**Trituradora Secundaria  
Tipo "S"**

Los diagramas y tablas muestran los lados abiertos y cerrados en la alimentación y el cerrado en la descarga de los materiales



**Trituradora Terciaria  
Tipo "FC"**

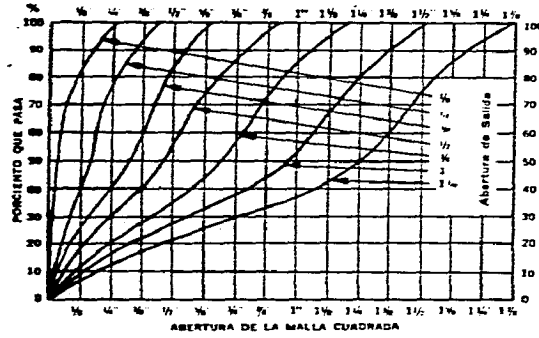
TIPO "S"																		
Tamaño de la Trituradora y Clase	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "C" indicada, para materiales que pesen 1,500 kg./m <sup>3</sup>													
		Lado Abierto "A"	Lado Cerrado "B"		1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"			
24 S (2 pies) Yacht	Grueso Mediano	3 3/4"	2 3/4"	3/8"	11	22	27	32	37	42	47	53						
24 S (2 pies) Yacht	Grueso	4 5/8"	4 1/8"	1/2"			27	32	37	42	47	53						
36 S (3 pies) Yacht	Lista Grueso Grueso Mediano	7 1/8"	6 1/4"	3/4"	36	41	56	71	77	83	89	105	110					
36 S (3 pies) Yacht	Grueso	7 3/4"	6 3/4"	3/4"				71	77	83	89	105	110					
48 S (4 pies) Yaupon	Lista Grueso Grueso Mediano	9 1/2"	8 1/2"	3/4"	85	110	135	155	170	185	200	215	230					
48 S (4 pies) Yaupon	Grueso	10"	9"	1"					170	185	200	215	230					
66 S (5 1/2" pies) Yacht	Grueso Mediano	11"	10"	1"	200	235	275	320	365	410	455							
66 S (5 1/2" pies) Yacht	Grueso	15"	14"	1 1/2"								365	410	455				

TIPO "FC"																		
Tamaño de la Trituradora y Clase	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "C" indicada, para materiales que pesen 1500 kg/m <sup>3</sup>													
		Lado Abierto "D"	Lado Cerrado "E"		1/8"	3/16"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"						
24 FC 2 pies Yearling	Grueso Mediano Fino	2 1/2"	1 7/8"	1/4"	6	8	10	14	20	25	30							
36 FC 3 pies Yuga	Grueso Mediano Fino	3"	2"	3/16"	22	32	42	52	62	72	80							
48 FC 4 pies Yule	Grueso Mediano Fino	4 1/4"	3"	3/8"				55	80	105	130	155	180					
66 FC 5 1/2" pies Yuman	Grueso Mediano Fino	5 3/4"	4"	1/2"	95	140	180	215	250	290								

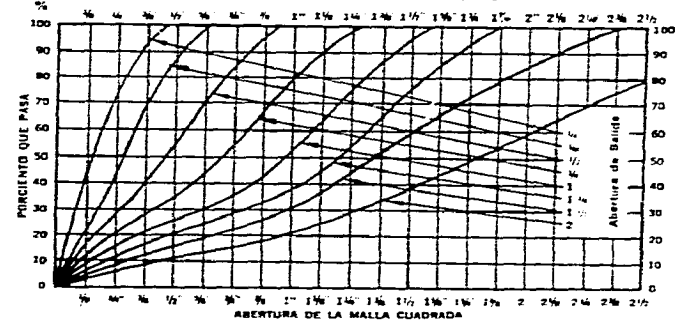
**NOTA:**  
Las capacidades indicadas son promedio, ni máximas ni mínimas, estando basadas en la trituración de roca o mineral limpio y seco de 1500 kg./m<sup>3</sup>, de peso volumétrico y 2.6 de gravedad específica.

Para aberturas menores que las mínimas mostradas, consulte a la fábrica.

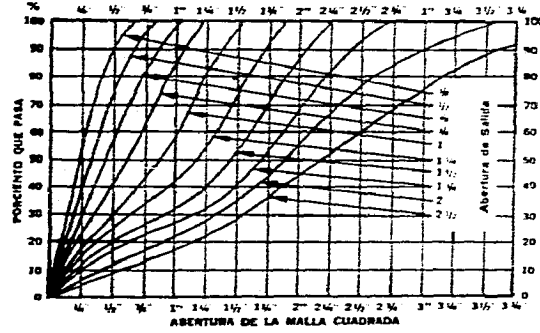
**Trituradoras Mod.24, "S" y "FC"**



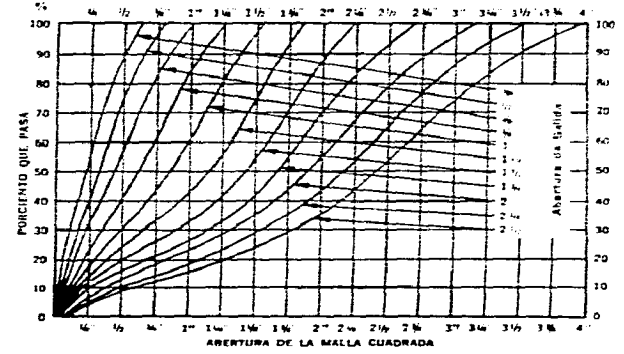
**Trituradoras Mod.36, "S" y "FC"**



**Trituradoras Mod.48, "S" y "FC"**



**Trituradoras Mod.66, "S" y "FC"**



*Fig. 17- Curvas granulométricas del producto triturado de las quebradoras de cono tipo "S" y "FC"*



rendimientos de las trituradoras secundarias y terciarias, deberá tomarse en cuenta la llamada carga de circulación que siempre se maneja en los circuitos cerrados.

### **3.2.2 Trituradoras de rodillos**

Las quebradoras de rodillos se utilizan para producir reducciones adicionales en los tamaños de las piedras, una vez que se ha sometido la producción de una cantera, a una o más etapas anteriores de trituración. Las trituradoras de rodillos, básicamente están formadas por una armadura metálica muy robusta, dentro de la cual quedan montados dos rodillos, y en ciertos modelos hasta tres, sobre respectivas flechas horizontales, girando estos en sentidos opuestos. Cuando es empujada por gravedad hacia abajo y por la fricción de la superficie de los rodillos, estos empleando los efectos de compresión y corte efectúan la reducción de tamaño del fragmento.

Los rodillos que son de acero duro, pueden ser lisos, dentados o corrugados, y están impulsados cada uno de ellos por una polea, o por un mecanismo de engranajes que permitan accionar el conjunto, empleando como elemento de transmisión una sola polea. El rodillo impulsor está fijo, mientras que el impulsado está montado sobre un mecanismo deslizante, que permite realizar su ajuste para dar la separación adecuada entre los rodillos por medio de un mecanismo hidráulico o de cuñas de posición.

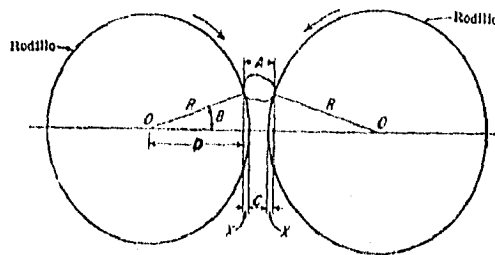
El rodillo impulsado o móvil, está cargado con resortes, para proporcionar una seguridad contra daños ocasionados por fragmentos metálicos, que accidentalmente penetran en la máquina; cuando esto sucede

los resortes se comprimen, abriéndose y cediendo el paso al elemento no triturable.

El tamaño máximo del material que puede alimentarse a la quebradora, depende fundamentalmente del llamado ángulo de ataque de los respectivos rodillos, del diámetro de los mismo, de su separación y del coeficiente de fricción que corresponde al material triturado, a continuación se desglosa el calculo del tamaño máximo del material de alimentación con que puede ser operada la trituración, medido en un solo sentido.

En el diagrama ilustrado en la fig. 18, se muestra el método comúnmente utilizado para calcular el tamaño máximo del material de alimentación de una máquina trituradora de rodillos, en función del diámetro de los rodillos, de su separación y del coeficiente de fricción del material triturado. De la figura de referencias podemos deducir las fórmulas siguientes:

Siendo :



*Fig. 18- Triturado de roca entre dos rodillos*

- R= radio de los rodillos,  
 B= ángulo de fricción o de ataque, que resulta según promedio estadístico de  $16^{\circ} 45'$   
 A= tamaño máximo del material de alimentación, con coeficiente de fricción igual a 0.3 (promedio estadístico).  
 C= ajuste de los rodillos igual al tamaño del producto terminado.  
 D=  $R \cos B = 0.957 R$   
 entonces:  
 X=  $R - D$   
 X=  $R - 0.957 R = 0.0425 R$   
 Si;  
 A=  $2X + C$   
 A=  $0.085 R + C$

Ejemplo: Determinar el tamaño máximo de la piedra que puede alimentarse a una quebradora de rodillos lisos de 40 pulgadas de diámetro, cuando el ajuste de los rodillos sea de 1 pulgada.

$$A = 0.085 \times 20" + 1"$$

$$= 2.7 \text{ pulgadas}$$

La demanda de potencia en este tipo de máquinas dependen de la capacidad de las mismas, la dureza y capacidad del material y de la relación de reducción. Para materiales duros, estadísticamente se ha determinado una demanda de potencia con valor promedio de un "horse

power-hour", por tonelada por hora producido por la máquina, a una relación de reducción de 3:1. Para materiales suaves y friables, esta demanda llega a reducirse hasta en un 50% (cincuenta por ciento).

La capacidad de la quebradora de rodillos variara ampliamente de acuerdo con: la clase y características del material pétreo de que se alimenta, del tamaño de la roca de alimentación y del producto terminado, del diámetro y ancho de los rodillos, y de su respectiva velocidad periférica, e inclusive del tipo de alimentación (regulada o no regulada).

En la tabla 8, se consignan las capacidades promedio de las quebradoras de rodillo lisos, expresados en toneladas de piedra por hora, para un material de 100 lbs. de peso por pie cúbico al ser triturado.

Es preciso llamar la atención en que, las capacidades consignadas en las tabla 8, son valores índices que servirán de guía para una primera estimación, pero que deberán ser comprobados con datos de operación de cada instalación en particular, puesto que tales capacidades pueden sufrir variaciones del orden del 25% en más o en menos, de acuerdo con las características del material procesado.

Antiguamente estas máquinas eran muy populares para realizar las trituraciones secundarias y terciarias en las plantas móviles camineras y en plantas fijas de producción de agregados para concreto hidráulico. Actualmente se ha reducido su utilización a tratamientos de materiales suaves y poco abrasivos, debido a que con rocas con alto contenido de sílice el desgaste que se presenta en la superficie cilíndrica de los rodillos en forma de surcos profundos, hace que tenga costos de mantenimiento muy elevados, además de que presenta otras inconveniencias como las

**Tabla 8. Rendimientos de trituradoras de rodillos dobles y triples, expresados en toneladas cortas por hora.**

TAMAÑO DE LA TRITURADORA, EN: PULGADAS.	POTENCIA REQUERIDA EN: H.P. (+)	AJUSTE DEL ESPACIAMIENTO ENTRE RODILLOS EN PULGADAS.									
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	4
54 x 24	125 - 150	32	64	96	128	160	192	256	321	384	512
40 x 30	135 - 160	36	72	108	143	177	215	285	357	430	
40 x 22	100 - 125	24	48	72	95	118	143	190	238	287	
30 x 24	85 - 105	21	44	65	88	110	130	175			
30 x 18	70 - 90	16	33	49	66	82	98	131			
24 x 16	50 - 65	13	26	39	52	65	78	104			
16 x 16	15 - 30	15	30	40	55		85	115	140		

- (-) Corresponde a Pioneer-Mexicana de Tractores y Maquinaria, S. A.  
 (\*) Los rendimientos de la trituradora de 16" x 16" corresponden a la "Inva Manufacturing Company".  
 Rendimientos correspondientes a máquinas con alimentación no regulada de material con peso del orden de 2,700 libras por cada cubica; operación en circuito cerrado; surtos o variaciones del orden de 25% en más o en menos. Los dos primeros dígitos indican el diámetro de los rodillos y los dos últimos su respectivo ancho.  
 (-) Las potencias consignadas corresponden a máquinas equipadas con rodillo doble.

siguientes:

El índice de reducción que se logra con estas máquinas es relativamente bajo; 3 a 1 como máximo, debido fundamentalmente a las limitaciones que se tienen en los tamaños de alimentación. Se ha procurado disminuir un poco este inconveniente, introduciendo un tercer rodillo, obteniendo así una máquina que puede trabajar con mayor índice de reducción, aun cuando más costosa en inversión inicial y en operación.

Para disminuir los problemas de alto costo de mantenimiento y perdida de tiempo, en el rectificado de los surcos de desgaste, se ha diseñado máquinas de soldadura automática, que mitigan un poco estos inconvenientes.

El coeficiente de forma del material triturado en los rodillos es por regla general bajo, con tendencias a formar muchas lascas con cierto tipo de rocas.

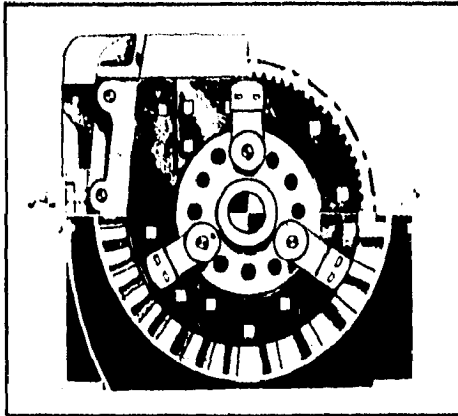
Por los motivos mencionados anteriormente, en muchas instalaciones de producción de agregados, las trituradoras de rodillo han venido siendo substituidas por otro tipo de máquinas, limitándose su campo de acción a cierto tipo de rocas suaves y poco abrasivas.

### **3.2.3 Quebradoras de martillos y de impacto.**

Esta familia de máquinas normalmente usadas en las etapas secundarias y terciarias, fragmentan la piedra utilizando los efectos de impacto y desgaste como la trituradora de martillo, o por impacto como la trituradora de impacto.

**Trituradoras de martillos (fig. 19).** Estas trituradoras se componen de un bastidor blindado interiormente por placas de acero al manganeso; dentro de la cámara de trituración se encuentra alojado uno o dos rotores montados sobre sus respectivas flechas horizontales, que se apoyan sobre cojinetes de rodillos y de rotula alojados en el bastidor. Sobre el revestimiento de los rotores giratorios se encuentran montados varios martillos, que en su trayectoria pasan entre las barras de una parrilla superior que forma el lecho de retención del material de alimentación y una parrilla inferior.

Imprimiendo gran velocidad al rotor, los martillos golpean al material de alimentación a medida que éste va descendiendo y circulando por la cámara de trituración, primero por desgaste del material entre las



*Fig. 19- Trituradora de martillos, de rotor simple con tres martillos y rejilla inferior para el control del tamaño del producto.*

barras de la parrilla superior; después, por desgaste de los detenidos por la parrilla inferior; finalmente, por proyección de los pedazos contra las placas del revestimiento.

Un pesado volante de inercia, regulariza la marcha de la máquina.

El grado de reducción se regula por la separación de barras de la parrilla inferior, ya que en tanto el material no pase por las barras, continua circulando por la cámara de trituración, sufriendo así una mayor fragmentación, hasta el grado deseado.

Los cuerpos no machacables son retenidos por un separador de alojamiento excéntrico, dispuesto después de la parrilla inferior.

Para el tratamiento del material pegajoso, se obtiene mejores resultados con la quebradora de martillos de doble rotor, de un funcionamiento idéntico, pero cuya alimentación se realiza por una entrada

central, cayendo los bloques entre los dos rotores que giran en sentido inverso supraconvergente.

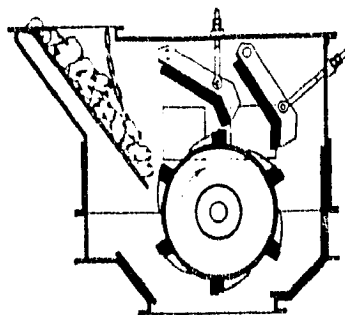
Con este tipo de maquinas se obtiene un buen coeficiente de forma, ya que todos aquellos materiales para cuya trituracion resulta económico el empleo del molino de martillos, el producto procesado suele ser de geometría cúbica, con un mínimo de astilladuras y lascas. Los molinos de martillos son capaces de lograr una relación de reducción muy elevada y que es del orden hasta de 20 a 1. Desafortunadamente estas maquinas no son adecuadas para procesar roca con más del 6% del contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), por el fuerte desgaste que sufren sus martillos, parrillas y placas con materiales pétreos abrasivos, resultando esta una operación más costosa.

**Quebradoras de Impacto.** Este tipo de quebradora, que puede apreciarse en la fig. 20, utiliza basicamente el efecto de impacto para fragmentar el material en el interior de una cámara blindada, donde el producto a fragmentar, se introduce lateralmente en la cámara de trituración, cae sobre un cilindro horizontal que gira a gran velocidad y que está equipado con cierto número de piezas de percusión o de martillos. Estos martillos imprimen violentos impactos a los fragmentos pétreos, cuyos pedazos son proyectados con fuerza contra el material pétreo que descende del conducto de alimentación y contra las placas de impacto lo que completa su fragmentación

Estas placas lisas o con salientes, pueden girar alrededor de ejes horizontales. Se aseguran con tirantes que se fijan sobre resortes anclados en la parte exterior de la cámara de trituración.



*Fig.- 20. Esquema de una quebradora de impacto de rotor simple.*



El grado de reducción se regula, por una parte, actuando sobre la velocidad de rotación; y por otra, variando la tensión de los resortes de los tirantes de las placas. Estos mismos resortes, que permiten un cierto movimiento de las placas de impacto, dejan paso a los productos extraños no triturables.

Señalemos que algunas quebradoras de impacto utilizan como placas, parrillas de barrotes.

Al igual que los molinos de martillos, existen quebradoras de impacto con doble rotor para los rendimientos importantes, llevando entonces una alimentación central: reversibles, por inversión del sentido de rotación.

El tamaño de los molinos de martillos y de los de impacto pueden designarse por el tamaño de la abertura de alimentación. La capacidad variara con el tamaño de la unidad, la clase de piedra que se triture, el tamaño del material con que se alimente, y con la velocidad de flecha o eje. Siendo tan variables y complejos los factores que afectan al rendimiento de una máquina de martillos y de impacto, que resulta

prácticamente imposible presentar tabulaciones generalizadas de rendimientos correspondientes a un tipo específico de roca. En la tabla 9 se proporcionan las capacidades representativas de las trituradoras de martillos y de impacto, expresadas en toneladas cortas por hora para un material con peso de 100 libras por pie cúbico al ser triturado.

**Tabla 9. Capacidades representativas de los molinos de martillos en toneladas por hora.**

TAMANO DE LA ABERTURA DE ALIMENTACION EN PULGADAS	TAMANO MAXIMO DEL MATERIAL DE ALIMENTACION.	POTENCIA REQUERIDA EN H. P. 'Allis' Chalmers	ABERTURA ENTRE LAS BARRAS DE LA CRIBA DE DESCARGA (Pulgadas).								SIN CRIBA DE DESCARGA			
			1 8		3 16		1 4		3 8			1 2		
			1	8	3	16	1	4	3	8		1	2	
6 14 x 9	3"	15 a 20	25	35	5	3	10							12
12 x 15	3"	50 a 60	9	13	17	23	29	36	39					48
15 x 25	6"	100 a 125	18	25	31	40	47	65	70					80
15 x 37	6"	150 a 200	27	37	47	60	71	97	105					120
15 x 49	6"	200 a 250	36	50	63	80	95	130	140					160

Al igual que las trituradoras de martillos, las quebradoras de impacto producen un material cúbico de elevado coeficiente de forma, con índice de reducción de 30 a 1, con materiales friables y poco abrasivos, que tengan menor del 6% de contenido de sílice, ya que con materiales abrasivos los desgastes que sufre los martillos y barras de impacto aumentan fuertemente los costos de operación.

### 3.3 PARA PRODUCCIÓN CUATERNARIA O MOLIENDA.

La mayoría de los casos, con las etapas anteriores, suele ser suficiente para obtener la gama completa en los rangos granulométricos de

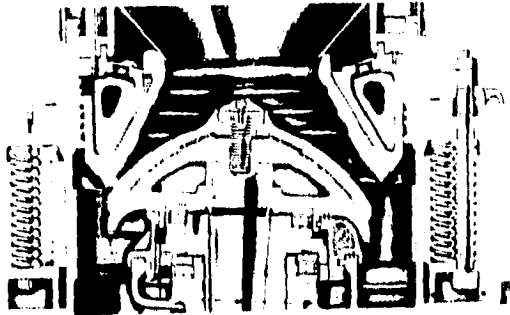
los agregados que se utilizan en las obras públicas de ingeniería civil, dando como resultado que el campo de aplicación en la construcción de las máquinas clasificadas en la etapa cuaternaria sea muy bajo, siendo éstas más aplicables en la preparación de minerales y materiales para fabricación de cemento; pero en algunos casos de producción de arenas calibradas, tanto para la elaboración de concreto hidráulico, filtros de presas; como para corregir las curvas granulométricas de los materiales, producto de las trituraciones secundarias y terciarias, y cumplir con las especificaciones de los materiales de base y carpeta asfáltica empleados en la construcción de caminos, será necesario efectuar una cuarta etapa de reducción de los materiales pétreos, para lo cual se utilizan básicamente las máquinas mencionadas a continuación; trituradora de conos "VFC" , molinos de barras y molinos de bolas, que son descritas a continuación.

### **3.3.1 Trituradoras de cono tipo "VFC".**

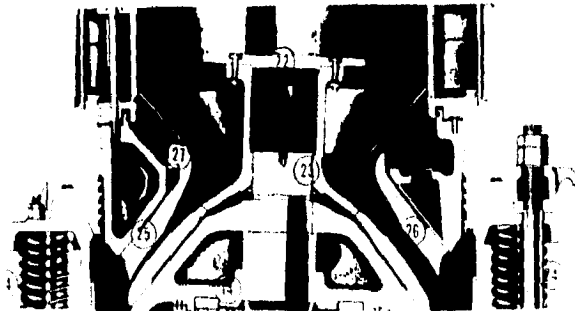
Anteriormente se ha hablado del funcionamiento y las características mecánicas de la familia de trituradoras de cono "S" (secundaria) y "FC" (terciaria), siendo la quebradora "VFC" (cuaternaria) otro modelo de la misma familia de trituradoras de cono, que ha sido diseñada específicamente para producir materiales finos.

El funcionamiento y las características mecánicas de las quebradoras "VFC" son semejantes al de las trituradoras "S" y "FC", inclusive el aspecto exterior es el mismo, no así la geometría de las cámaras de molienda, donde presentan grandes diferencias, según se trate de una trituradora secundaria (fig. 21-A), terciaria (fig. 21-B), o cuaternaria

A.- Tipo "S" (secundaria)



B.- Tipo "FC" (terciaria)



C.- Tipo "VFS" (cuaternaria)



Fig. 21- Cortes longitudinales de las quebradoras de cono.

(fig. 21-C), siendo las máquinas que admiten a la entrada los tamaños menores de piedra, con lo que es posible con amplios límites de seguridad, hacer ajustes más finos en la abertura de descarga. Las máquinas "VFC" cuentan además con un alimentador estilo-torre, que es una bandeja distribuidora, montada encima de la cabeza móvil, que asegura una alimentación regular cuantitativa y granulométrica a todo alrededor de la apertura de alimentación.

Por su diseño compacto las trituradoras "VFC" al igual que los modelos "S" y "FC" se pueden utilizar en instalaciones fijas y móviles, pudiéndose triturar cualquier clase de material, obteniendo un buen coeficiente de forma. Sus elevadas capacidades de producción y mantenimiento bajo, son factores que hacen básicamente a las trituradoras "VFC" las más empleadas en las obras de ingeniería civil para producir agregados finos.

Las cantidades de producción varían con la clase de roca que se triture. En la tabla 10, se observan dos rendimientos para un mismo tamaño de trituradora, el rendimiento mayor pertenecerá a una roca suave no abrasiva, y el rendimiento menor a una roca con mayor contenido de cuarzo y sílice, el material húmedo y pegajoso también tenderá a reducir dichas capacidades, las cuales deben tomarse solamente como guía general, así mismo se puede observar en la fig. 22, la curva granulométrica del producto triturado.

### **3.3.2 Molinos de barras**

Estos molinos se emplean para producir agregados finos, como

Tabla 10. Capacidades de las trituradoras de cono tipo VFC en toneladas cortas por hora.

Tamaño de la trituradora y clave	HP, requeridos	Capacidades
24" VFC	80	12 - 24
36" VFC	100	45 - 60
48" VFC	200	70 - 100

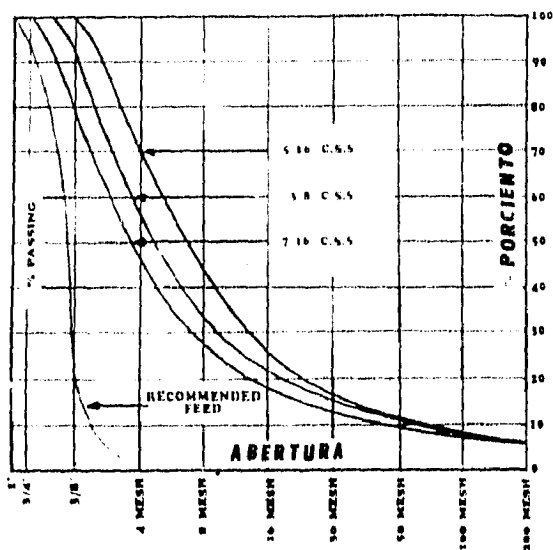
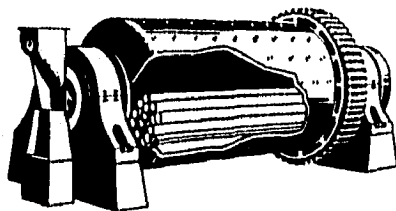


Fig. 22-Curvas granulométricas de las trituradoras de cono tipo VFC.

la arena, a partir de la piedra que ha sido triturada a tamaños adecuados por otra clase de equipos de trituración.

El molino de barras (fig. 23), está construido esencialmente por un tambor cilíndrico de placa de acero estructural, horizontal, unido a dos fondos abombados solidarios a dos muñones huecos. Los muñones reposan sobre cojinetes lubricados de rótula, soportados por bancadas de concreto. El movimiento está asegurado, bien por una corona dentada con piñón de acero y grupo motorreductor de velocidad; o bien por trenes neumáticos de eje horizontal, actuando por fricción sobre caminos de rodaduras lisos que rodean exteriormente el cilindro, con neumáticos de guía de eje vertical.

El interior del molino está equipado con revestimientos de desgaste o blindajes de gran espesor de fundición de acero al manganeso y cargado con barras cilíndricas de acero duro de 2 y 3 pulgadas de diámetro, de longitud ligeramente inferior a la interior del cilindro. Estas barras, arrastradas por la rotación del tubo, ruedan unas sobre otras, y su movimiento rotativo genera una acción intensa de molienda.



*Fig. 23- Corte de un molino de barras.*

Los molinos pueden trabajar por vía seca o por vía húmeda. según este funcionamiento y por el grado de finura del producto, existen tres tipos de alimentación y descarga, los cuales se ilustran en la fig. 24 y se mencionan a continuación:

- a).- alimentación directa por tubo inclinado (vía seca y vía húmeda);
- b).- alimentación por conducto tubo vibrante (vía seca y vía semi-húmeda);
- c).- alimentación por vertedor simple o doble (vía húmeda). Esta alimentación se hace por uno o por los dos muñones huecos.

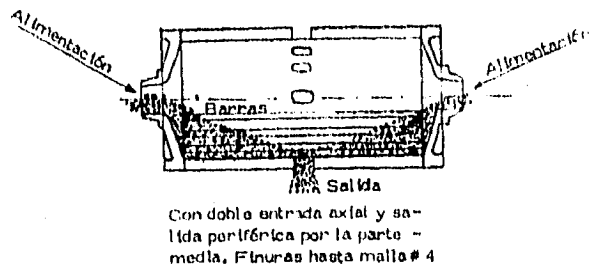
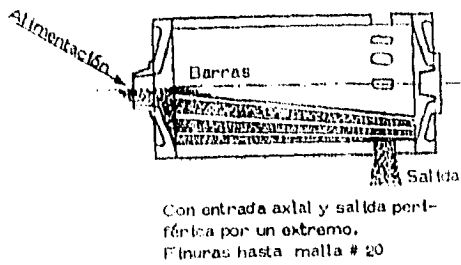
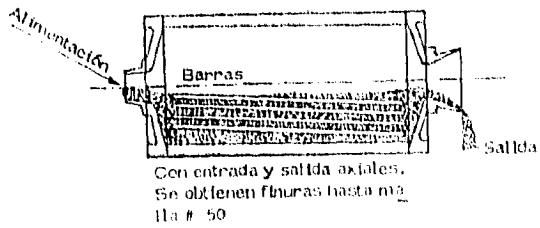
La descarga del material molido se hace por:

- a).- salida central por desbordamiento en el muñón hueco opuesto a la entrada para la vía húmeda con producto de elementos finos;
- b).- salida periférica externa por una serie de orificios regularmente espaciados alrededor del tubo en el extremo opuesto al de alimentación por vía seca, semi-seca o húmeda, con producción de elementos medios;
- c).- salida periférica media (con alimentación simultánea e igual por los dos extremos) por una serie de orificios regularmente espaciados alrededor del tubo, con producción de grandes elementos y mínimos ultra finos.

Las arenas artificiales producidas por el molino cilíndrico de barras, tienen excelente coeficiente de forma y una curva granulométrica



MOLINOS DE BARRAS

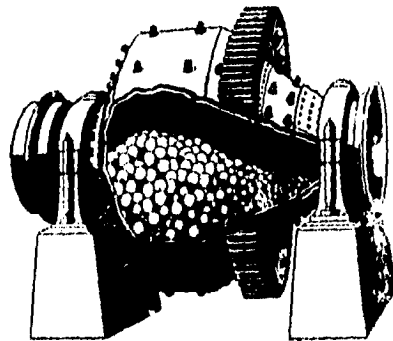


*Fig. 24 -Tipos de alimentación y descarga de los molinos de barras.*

que se aproxima sensiblemente a los usos teóricos. El tamaño de un molino de barras esta especificado por el diámetro y la longitud del casearon, por ejemplo, de 8 por 12 pies respectivamente.

### **3.3.3 Molino cilíndrico de bolas**

El molino de bolas (fig. 25), esta construido sobre el mismo sistema que el molino cilíndrico de barras, pero es de longitud menor y tiene una rotación algo más rápida. Además la carga de molienda en vez de ser barras, son bolas de acero de distinto diámetro, que arrastradas por la rotación del tubo, ruedan y chocan unas contra otras, sometiendo así el material a una intensa acción de molienda.



*Fig. 25- Corte de un molino de bolas.*

La alimentación se hace por uno de los muñones huecos y la descarga por el otro. Se utiliza para alimentación los mismos equipos que para el molino cilíndrico de barras.

La evacuación del material molido se puede hacer por:

- a). salida central por desbordamiento a través del muñón hueco de salida, para la vía húmeda.
- b). salida de parrilla del control regable que cubra la salida situada en el muñón hueco y recibe los productos molidos que son elevados por unas cavidades elevadoras solidarias al cilindro.

El molino de bolas produce agregados finos con tamaños de granos menores que los producidos por los molinos de barras. La finura puede regularse variando las condiciones de alimentación (cadencia y granulometría), o la acción del molido (carga y tamaño de las bolas, velocidad de roturación).

El costo de adquisición, montaje y operación de los molinos son tan elevados, que su selección se enmarca en otros campos muchos más especializados de la industria.

## CAPITULO IV

### EQUIPO COMPLEMENTARIO

Las plantas de trituración de agregados pétreos, están integradas por un conjunto de máquinas de diversos tipos, diseñadas para desempeñar cada una diferentes funciones dentro de la planta, con la finalidad de darle al material en greña el o los tratamientos para trasformarlo en un agregado útil.

Las máquinas que forman la planta de trituración, las podemos dividir en dos grupos: Los equipos de trituración propiamente dicho y los equipos complementarios.

Los equipos de trituración propiamente dicho son todas las familias de máquinas trituradoras que se describieron en el capítulo anterior.

El equipo complementario es el que está compuesto por todas esas máquinas que no intervienen directamente en la trituración de los agregados, pero que son indispensables para realizar los procesos necesarios de transformación del material en greña en un agregado que cumpla con ciertas especificaciones de calidad. Por lo contrario del equipo de trituración, el equipo complementario ha tenido una gran evolución en los últimos años, esto ha hecho que en la actualidad con las mismas máquinas de trituración en las plantas modernas estacionarias o portátiles,

se consigan las siguientes ventajas y mejoras que a continuación se mencionan:

- 1.- mejor eficiencia de las máquinas de trituración;
- 2.- mayores capacidades de producción;
- 3.- mejor calidad en los agregados;
- 4.- menores costos de producción;
- 5.- menores requerimientos de mano de obra.

Las máquinas que integran el equipo complementario y que hacen posible las ventajas arriba mencionadas, son las siguientes:

- 1.- Alimentadores
- 2.- Bandas transportadoras
- 3.- Cribas Vibratorias
- 4.- Gusanos lavadores
- 5.- Ciclones hidráulicos

Dependiendo de las condiciones y del tipo de problema que se tenga, estos aparatos mecánicos se pueden emplear todos o solamente algunos de ellos.

A continuación se describen cada una de estas máquinas y su aplicación dentro del campo de la producción de agregados pétreos.

#### **4.1 ALIMENTADORES.**

La alimentación del material en grña, a la quebradora primaria, se puede realizar en dos formas, que son:

- Por vaciado directo de los medios de transporte arrojando la roca a la boca de la quebradora.

- Alimentarse por medio de un equipo especial mecánico, llamado "alimentador" con o sin dispositivo de precibado.

La practica de alimentar las máquinas primarias, descargando el material procedente de los bancos de préstamos directamente sobre sus aberturas de recepción, o bien sobre sus tolvas de extensión, cuando se encuentran equipadas con las mismas, ha sido casi abandonada, ya que la alimentación sin regularización, eventualmente tiende a sobrecargar las máquinas, con el peligro de quedar atascadas.

Para realizar la alimentación regulada de las trituradoras primarias de las plantas clasificadoras, la practica común y económica, consiste en instalar alimentadores mecánicos que son elementos destinados a introducir la materia prima, situada en una tolva, a una velocidad uniforme. Por lo que, con la instalación de un alimentador se aumenta la capacidad de la quebradora, ya que no producirá sobrecargas, ni abastecimientos insuficientes de piedra en la trituradora.

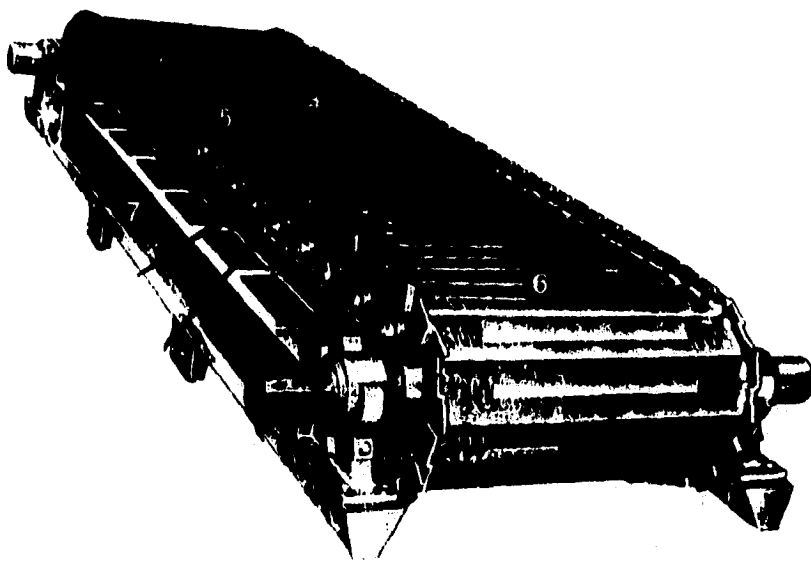
Los Alimentadores están concebidos según los mismos principios, siendo los más populares los descritos a continuación:

- alimentador de mandil;
- alimentador de plato reciprocante;
- alimentador vibratorio con rejilla;

**Alimentador de mandil o de tablero metálico.** El alimentador de mandil como se ilustra en la fig. 26, es un tablero continuo semejante a una banda transportadora, que está compuesto por paletas metálicas seccionales intercambiables que se encuentran eslabonadas entre sí, este

tablero se mueve a una velocidad rotativamente lenta (3 a 10 mts. por minuto), accionada por un sistema de motor eléctrico, reductor, catarinas y cadenas. El tablero metálico se encuentra montado sobre un sólido chasis que le sirve de elemento de sustentación. El mandil del alimentador es de una caja-tolva abierta por el lado de descarga del alimentador y que tiene las siguientes finalidades:

- a).- Delimitar a la banda transportadora a tablero metálico.
- b).- Aumentar la capacidad de transporte del tablero, ya que por lo general



*Fig. 26- Alimentador de mandil o de Tablero metálico.*

se procura que el mismo lleve material con una altura aproximadamente igual a un medio de su anchura.

e).- Evitar que fragmentos del material se derramen lateralmente.

Este tipo de alimentadores se recomienda para producciones elevadas, donde se manejan grandes fragmentos de roca, sobre todo en plantas mineras y cementeras.

La capacidad de operación de un alimentador de mandil la podemos expresar por medio de la ecuación teórica siguiente:

$V = 2.22 (D \times W \times S \times F)$ , en la que:

V= capacidad del alimentador expresada en yardas cúbicas por hora. lo que suele referir a una material con peso de 2,700 libras por yarda cúbica.

D= Altura del material sobre el tablero, medido en pies.

W= Ancho del alimentador, medio en pies.

S= Velocidad de desplazamiento de la banda, medida en pies por minuto.

F= Factor de llenado, el que se suele estimar en 0.8 como valor promedio.

En la tabla 11 se consignan capacidades de algunos alimentadores de mandil, basados en las consideraciones teóricas señaladas en la misma. Los propios fabricantes hacen hincapié en que tales rendimientos son muy variables, por lo que los consignados en la tabla referida, deberán considerarse como valores tentativos. Por otra parte, la práctica usual y adecuada consiste en seleccionar alimentadores de sobrada capacidad, puesto que sobre los mismos descargan prácticamente en forma instantánea los camiones, por lo que de hecho el alimentador sirve a la vez



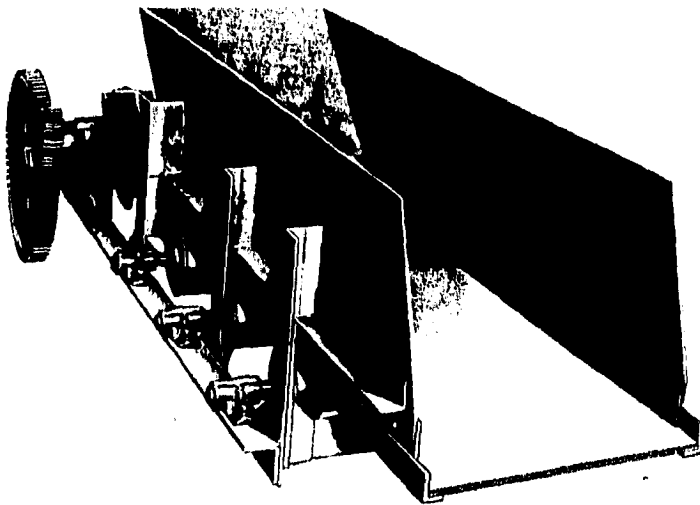
**Tabla 11. Capacidades de alimentadores de mandil "**  
**pioneer oro", por hora de operación ( \* ).**

VELOCIDAD DE LA BANDA EN: PIES/MINUTO.	ANCHO 30"		ANCHO 36"		ANCHO 42"		ANCHO 48"		ANCHO 60"		ANCHO 72"	
	Yd <sup>3</sup>	Ton.	Yd <sup>3</sup>	Ton.	Yd <sup>3</sup>	Ton.	Yd <sup>3</sup>	Ton.	Yd <sup>3</sup>	Ton.	Yd <sup>3</sup>	Ton.
10	55	74	80	108	109	147	143	192	222	300	320	432
15	83	112	120	162	164	222	214	289	333	450	480	648
20	110	148	160	216	218	294	284	384	444	600	640	864
25	138	186	200	270	273	369	357	482	555	750	800	1080
30	165	223	240	324	327	442	427	577	667	900	960	1296
35	193	260	280	378	382	516	500	673	778	1050	1120	1512
40	220	296	320	432	436	588	572	768	888	1200	1280	1728

(\*) Los valores consignados corresponden a una altura de material igual a un medio del ancho de la banda; un factor de llenado igual a 0.80 para compensar los vacíos y resistencias al flujo; y material con peso de 2,700 libras por yarda cúbica. (Pioneer - Mexicana de Tractores y Maquinaria, S.A.)

de regulador de la trituradora.

**Alimentadores de plato reciprocante.** Como se pueden apreciar en la fig. 27, se componen de una placa rectangular o tolva sobre cuya abertura receptora se descarga el material en greña; su parte inferior correspondiente a la descarga, se encuentra cerrada por un dispositivo sobre el cual se mueve una compuerta en forma de placa o plato, montada sobre rodillos, animada por el movimiento de vaivén por medio de una biela excéntrica conectada al respectivo motor. En su movimiento reciprocante, el plato cuya carrera es ajustable, va abriendo y cerrando la abertura de descarga de la tolva, dando así salidas a porciones de una longitud igual al recorrido del cajón. El caudal es proporcional a la anchura y al recorrido del cajón así como al número de recorridos por minuto.



*Fig. 27- Alimentador de plato reciprocante.*

Al igual que los alimentadores de mandil, el movimiento de los reciprocantes de plato depende de numerosos factores, y en especial a las características del material de alimentación; los alimentadores de plato se emplean normalmente en instalaciones en las que se procesa material procedente de bancos naturales de grava, que no sea mayor de 10 pulgadas aproximadamente, o bien de materiales ligeros, ya que son modelos sencillos que en su uso con rocas grandes, les disminuiría grandemente su tiempo de vida o de duración.

En la tabla 12 se consignan capacidades promedio de algunos modelos de alimentadores del tipo de plato reciprocante, para manejo del material del tipo de grava.

Tabla 12. Rendimiento de alimentadores  
de plato recíprocante, en YD.3 (+)

MODELO	POTENCIA EN H.P.	MATERIAL PEGAJOSO	MATERIAL SECO
240	3	90	180
300	5	135	270
370	7.5	185	370

(+) Pioneer-Mexicana de Tractores y Maquinaria. S.A.

**Alimentador vibratorio (Grizzly) con rejilla de pre-cribado (fig. 28).** Este aparato mecánico, que es la combinación de un alimentador y una rejilla de pre-cribado, produce sus vibraciones por medio de excéntrico o por desequilibrio. Está compuesto por un tablero-parrilla de barras, donde la separación de las barras corresponde a la separación deseada

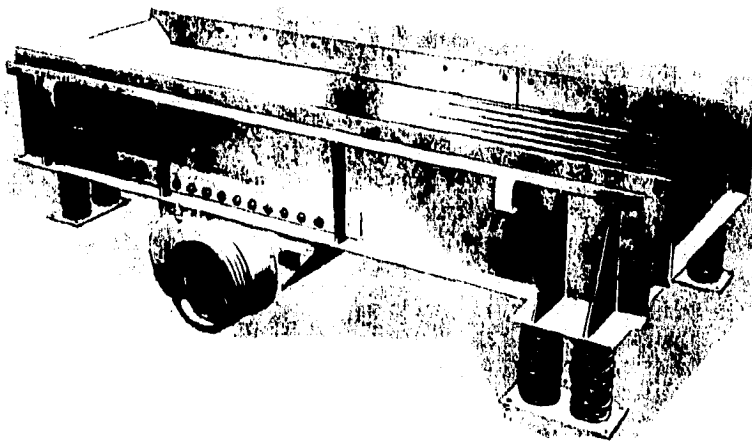


Fig. 28. Alimentador grizzly vibratorio, con rejillas de precribado.

El alimentador vibratorio grizzly, se utiliza en instalaciones de mediana y elevada producción, para elaborar agregados pétreos, con la ventaja de que sólo envían el material requerido por la quebradora primaria, precibando el material pequeño que pueda contener el material en greña.

En el caso en que se trabaje con material muy abrasivos, ciertos constructores equipan las paredes de los conductos y tolvas con una capa de revestimiento protector de caucho especial antiabrasivo.

## **4.2 BANDAS TRANSPORTADORAS**

Las bandas transportadoras son ampliamente utilizadas en las obras de ingeniería civil, en donde con frecuencia proporcionan el método más satisfactorio y económico para manejar y transportar materiales tales como: tierra, arena, grava triturada, minerales, cemento, concreto, etc. En las plantas de producción de agregados pétreos, las bandas transportadoras son el elemento complementario, que está destinado a conducir o transportar el material granular de un lugar a otro, de acuerdo con la etapa o proceso que vaya a sufrir, hasta su etapa final de manufacturamiento del agregado.

Como se puede apreciar en la fig. 29, una banda transportadora está formada por las siguientes partes esenciales, a más de otras complementarias; una banda continua de material adecuado, la cual durante la operación se encuentra animada por un movimiento continuo en circuito cerrado; rodillos de carga y rodillos de retorno que sirven como elementos de apoyo a la propia banda, poleas de cabeza motriz y de cola en los

extremos del correspondiente transportador, dispositivos tensadores, una toma de fuerza de características adecuadas y una armadura que soporta a todo el conjunto y a su dispositivos auxiliares complementarios, como tolvas de alimentación, pasarelas laterales, pasamanos, cubiertas, contrapesos, tensadores, etc.

La longitud de la banda transportadora depende básicamente de la distancia a que deben ser transportados los materiales, aunque si bien, tal distancia frecuentemente se tiene que cubrir por medio de varios transportadores instalados en serie, acomodados de manera que cada uno de ellos descargue el material transportado, sobre el subsecuente, esto se debe a que una banda transportadora tiene en su longitud limitaciones derivadas de condiciones mecánicas, constructivas y económicas. Como se puede apreciar en el examen de la fig. 29, una banda transportadora está integrada por tres tipos de sección; una sección llamada de cabeza, en la que normalmente se encuentran instalados los dispositivos para toma y transmisión de fuerza, una sección de cola, y una o varias secciones intercambiables llamadas secciones de extensión, por lo que aumentando o disminuyendo la cantidad o longitud de éstas, se podrá alargar o reducir, dentro de ciertos límites, la longitud de la banda transportadora.

En las instalaciones de plantas clasificadoras, las longitudes de las bandas transportadoras que forman parte de aquellas son relativamente reducidas, siendo usualmente del orden de 40 a 120 pies lineales medidas de centro a centro entre las poleas de cabeza y de cola, y los anchos de las bandas normalmente son desde 18, 24, 36, 42, 48, 54 y 60 pulgadas, y hasta de 120 pulgadas en la industria minera. Para los grupos móviles de





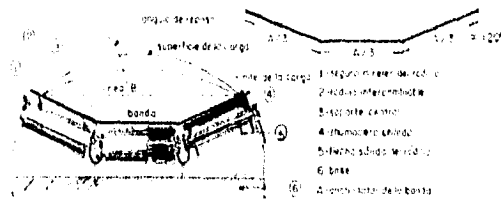
*Fig. 30- Banda transportadora portátil, montada sobre ruedas.*

están fabricadas; el peso de cada capa, expresado en onzas por cada pieza equivalente de lona de 42 pulg. de ancho por 36 pies de largo; el ancho de la banda expresándose en pulgadas. Así por ejemplo, una banda se podrá identificar señalando que es de 42 pulg. de ancho, 7 capas y 38 onzas de peso, con lo cual queda plenamente identificada, puesto que inclusive el peso esta correlacionado con la resistencia de la misma. La consideración básica para la selección de una banda, reside en que la misma sea suficientemente resistente para soportar las tensiones a que quedará sometida durante su operación.

Por otra parte, lo que respecta a su capacidad, una banda deberá ser elegida por su anchura, puesto que de esta dimensión conjugada con la velocidad de operación depende fundamentalmente la capacidad de transporte de la banda.

En las bandas transportadoras comunes, la banda propiamente dicha que lleve la carga en su cara superior, y generalmente en dirección hacia la polea de cola, se apoya sobre trenes de rodillos de carga, que son

grupos de tres rodillos, siendo un rodillo central y dos rodillos laterales inclinados 20, 35 ó 45 grados con respecto a la horizontal, dispuestos de manera que la banda adopte una forma acanalada, en su sección transversal ( como se ilustra en la fig. 31 ). lo que a más de aumentar la capacidad de carga de la misma, evita el derrame de material por los lados; la cara inferior se apoya a su regreso en rodillos planos llamados rodillos de retorno, que están espaciados a distancias mayores que los rodillos de carga.



*Fig. 31- Esquema mostrando la sección transversal de una banda transportadora con carga.*

Del examen de la fig. 31, se aprecia que la sección transversal del montón de material transportado por la banda depende, tanto de la anchura de la misma, como del ángulo de reposo del material. A su vez el volumen transportado por la banda, lógicamente será igual a la sección transversal de referencia, multiplicado por la velocidad de traslado de la propia banda, la que deberá expresarse en unidades compatibles con la sección transversal.

Puesto que en anteriores incisos hemos señalado la convención



tan generalizada de los fabricantes, referente a expresar las capacidades de producción de las diversas máquinas que forman parte de plantas clasificadoras, en toneladas cortas por hora de operación, resulta lógico, conveniente y compatible adoptar también dicha convención para expresar el rendimiento de las bandas transportadoras, referido a tonelaje por hora de trabajo; ahora que, los casos en que convenga conocer la producción volumétrica, bastará hacer la conversión dimensional correspondiente.

Para eliminar el derramamiento de los lados, los fabricantes recomiendan que el material deberá dejar una faja libre a cada borde de la banda con valor aproximado de  $0.05 A + 1$  pulg.; en donde A es el ancho de la banda en pulgadas. Aceptando lo anterior, en la tabla 13, se consignan las secciones transversales correspondientes a materiales enrasados horizontalmente y a materiales depositados formando un copete correspondiente a su respectivo ángulo natural de reposo; dichas secciones transversales que por lo demás se obtuvieron de un simple cálculo geométrico, son idealizadas y se utilizan para, en ciertos eventos determinar la capacidad o rendimiento de la banda, conocida su velocidad y el peso específico del material transportado.

Ejemplo: Una banda transportadora de 60 pulgadas de ancho, se desplaza con una velocidad de 400 pies por minuto, transportando un material con peso de 100 lbs. por pie cúbico, con un ángulo de reposo de 20 grados, su rendimiento horario será:

Entrando a la tabla 13 con los argumentos, 60 pulgadas de anchura de la banda y un ángulo de reposo de 20 grados para el material, se obtiene de la misma una sección transversal teórica con valor de 2.360 pies

**Tabla 13. Áreas teóricas de la sección transversal del material depositado en bandas transportadoras, según el ángulo natural de reposo del material (Pies cuadrados).**

ANCHO DE LA BANDA	ANGULO NATURAL DE REPOSO			
	0°	10°	20°	30°
16	0.072	0.101	0.131	0.161
18	0.096	0.134	0.174	0.214
20	0.122	0.170	0.220	0.272
24	0.185	0.257	0.331	0.410
30	0.303	0.421	0.541	0.668
36	0.450	0.624	0.801	0.990
42	0.627	0.868	1.115	1.376
48	0.833	1.154	1.482	1.825
54	1.068	1.476	1.894	2.332
60	1.333	1.843	2.360	2.908

cuadrados.

Por consiguiente el rendimiento horario de la banda instantáneo en las condiciones plateadas será de:

$$V = \frac{400 \text{ (ft / min)} \times 100 \text{ (lbs / ft}^3\text{)} \times 2,36 \text{ (ft}^2\text{)} \times 60 \text{ min. / hr.}}{2000 \text{ lbs / ton. cortas}}$$

$$V = 2.83 \text{ ton. / hr.}$$

En la tabla 14, se consignan las capacidades o rendimientos de bandas transportadoras de diversos anchos operando a velocidades diferentes y con diversos materiales, de acuerdo con observaciones y cálculos estadísticamente basados de la casa Pioner-Engineering. Para obtener rendimientos instantáneos a partir de esta tabla, bastará entrar a la misma utilizando como argumento; el ancho de la banda, la velocidad de desplazamiento de la misma y la clase de material transportado. Los datos

Tabla 14. Capacidades de transportadores de banda

anchura de la banda	longitud máxima de terreno		peso del material en toneladas	muestras típicas	capacidad en toneladas por hora										
	en abanico	en staffaje			velocidad de la banda en pies/minuto										
					100	150	200	250	300	350	400	500	600		
12"	2'	3'	30	coque	7	10	13	17	21						
			50	carbón	11	15	19	24	29						
			75	hierro suelto	15	20	25	31	37						
			100	grava y arena	19	25	31	38	45						
			150	minerales	23	30	37	45	54						
16"	3'	5'	30	coque	11	15	19	24	29	34					
			50	carbón	17	22	28	34	41	48					
			75	hierro suelto	23	30	37	45	54	63					
			100	grava y arena	30	38	47	56	66	77					
			150	minerales	37	47	58	69	81	94					
18"	4'	6'	30	coque	15	20	25	31	37	44					
			50	carbón	22	29	36	43	51	60					
			75	hierro suelto	30	38	47	56	66	77					
			100	grava y arena	39	49	60	71	83	96					
			150	minerales	48	61	75	90	106	123					
24"	6'	8'	30	coque	23	30	37	45	54	63					
			50	carbón	34	44	54	65	77	90					
			75	hierro suelto	45	57	70	84	99	115					
			100	grava y arena	58	73	89	106	124	143					
			150	minerales	72	90	110	131	154	179					
30"	7'	12'	30	coque	34	44	54	65	77	90					
			50	carbón	51	66	81	97	115	134					
			75	hierro suelto	68	86	105	126	148	172					
			100	grava y arena	88	111	135	161	189	219					
			150	minerales	109	137	168	201	238	278					
36"	8'	16'	30	coque	45	57	70	84	99	115					
			50	carbón	68	86	105	126	148	172					
			75	hierro suelto	90	111	135	161	189	219					
			100	grava y arena	117	146	180	216	255	297					
			150	minerales	146	184	225	270	319	372					
42"	10'	20'	30	coque	58	73	89	106	124	143					
			50	carbón	87	109	133	159	188	219					
			75	hierro suelto	115	144	175	210	249	291					
			100	grava y arena	148	184	225	270	319	372					
			150	minerales	184	230	281	338	399	465					
48"	12'	24'	30	coque	72	90	110	131	154	179					
			50	carbón	108	137	168	201	238	278					
			75	hierro suelto	144	181	225	270	319	372					
			100	grava y arena	184	230	281	338	399	465					
			150	minerales	228	285	347	414	486	564					

© Pioneer Machine de Troncos y Maderas, S.A.  
 † Los valores que aparecen en las columnas de arriba, indican velocidades recomendadas por los fabricantes, con las que normalmente suministran las bandas, o menos que se estipulan otros valores en los pedidos.

consignados en dicha tabla cubren ampliamente los casos y necesidades que comúnmente se presentan en la construcción de obras civiles, puesto que en estas por lo general se manejan gravas y arenas, así como piedra triturada.

Por otra parte es menester tener en consideración que la velocidad de desplazamiento de las bandas tienen limitaciones que

dependen tanto del ancho de la propia banda, como del material transportado, así como el ángulo de inclinación del transportador. En dicho ángulo de inclinación ejerce muy particular influencia la cohesión del material, así como su ángulo natural de reposo. En ningún caso deberá instalarse una banda con inclinación mayor de la permisible, por que de hacerlo así se presentaría el deslizamiento regresivo del material transportado. En la tabla 15 se consignan los ángulos de inclinación recomendables para diferentes materiales.

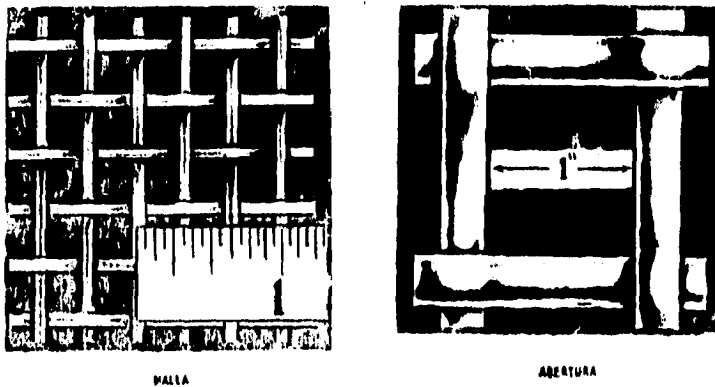
#### 4.3 CRIBAS VIBRATORIA.

Las cribas, son coladeras o rejillas que puedan ser de barras soldadas, de placa de acero perforadas con agujeros redondos, cuadrados, rectangulares u octagonales; o con tela de alambre tejido, siendo ésta última la más popular para una gran variedad de aplicaciones.

**Tabla 15. Inclinaciones máximas recomendables para bandas transportadoras, de acuerdo con el material acarreado por las mismas.**

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	INCLINACIÓN MAXIMA (en grados)
Carbón en cisco o fragmentos menudos	20
Carbón en greña	18
Carbón de coque clasificado ( cribado )	17
Tierra suelta	20
Briquetas	10
Grava en greña de bancos naturales	18
Grava lavada	12
Minerales triturados	20
Arena húmeda	20
Arena seca	15
Piedra triturada	19

La tela puede designarse en función de la abertura o malla. La diferencia se ilustra en la fig. 32, en donde la abertura es la dimensión real entre los dos alambres adyacentes paralelos, y la malla es el número de aberturas por pulgada, medido de centro a centro de los alambres paralelos.



*Fig. 32. Medidas de las telas de alambre.*

La superficie de cribado está constituida en la mayoría de los casos por mallas cuadradas, rigiéndose generalmente en México, los tamaños de abertura por la norma ASTM que se mencionan en la tabla 16.

Para que se efectúe la separación del material, éste debe moverse o sacudirse sobre la superficie de la criba. Los materiales pegajosos o mojados y las aberturas pequeñas requieren del máximo de movimiento.

El movimiento se puede obtener por gravedad a lo largo de una criba inclinada, por sacudidas o haciendo vibrar la criba.

**Tabla 16. Tamaños de las aberturas de malla.**

Designación de la malla	Claro entre alambres en mm.
3/4"	19
1/4"	6.3
No. 4	4.76
No. 8	2.38
No. 16	1.19
No. 30	0.59
No. 50	0.297
No. 100	0.149
No. 200	0.074
No. 400	0.037

Antiguamente se clasificaba el material pétreo llevándolo a una criba con gran pendiente situada en un lugar fijo. Este proceso elemental no se utiliza más que algunas veces para tratar arenas secas.

Se utilizó después la criba giratoria, que actualmente se utiliza únicamente en las pequeñas canteras de balasto, tanto a causa de su bajo rendimiento con relación a la fuerza requerida, como por su incierto poder de clasificación.

En la clasificación moderna de agregados, la criba más empleada es la vibratoria, esta puede vibrarse mecánica o eléctricamente para: agitar el material que está sobre ella, aumentar la cantidad de material

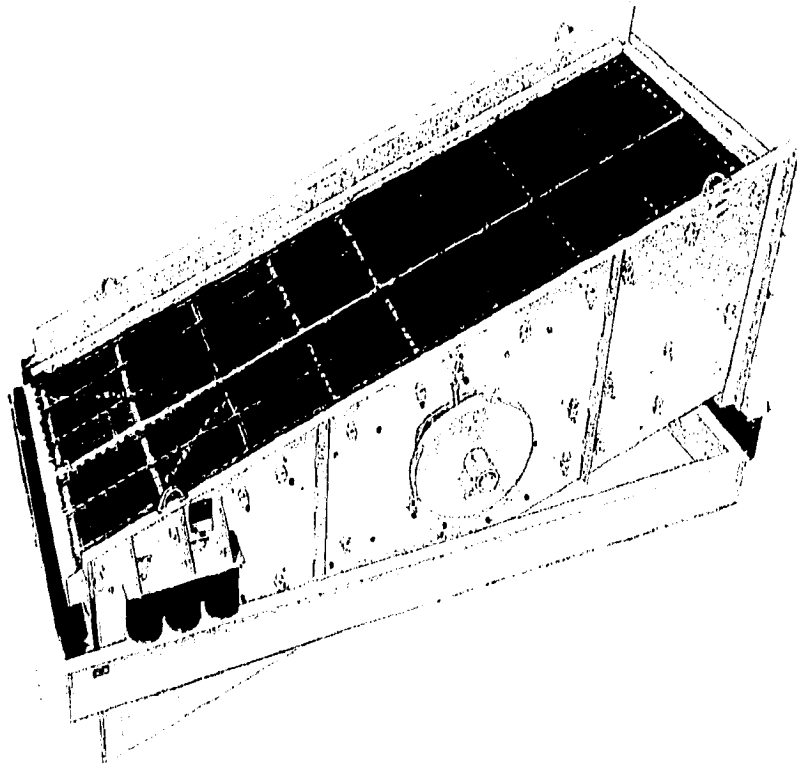
que pasa por los agujeros, separar las partículas que se han pegado y remover el material que no pasa hacia la descarga.

Estos aparatos pueden ser de uno o varios pisos de malla de alambre o de placa perforada caracterizadas por su tamaño de abertura, ya que, las dimensiones de las aberturas de las mallas disminuyen de la malla superior a la malla inferior.

Las mallas están montadas en el interior de una caja o bastidor flotante, que reposa sobre un montante de resortes soportado por un chasis fijo que puede estar integrado a una estructura o suspendido por cables. En este último caso, se suprime a veces el cuadro fijo y los resortes-soportes se sustituyen por los cables.

Las cribas vibratorias se suelen instalar inclinadas (fig.33), utilizando un excéntrico simple para dar sacudidas o vibraciones, que con la pendiente de la criba y la acción de la gravedad ocasionan el avance del flujo sobre la superficie de la criba. La mayor parte de las partículas de menor tamaño que los orificios de la criba caen a través de ella, en tanto que las partículas de mayor tamaño se deslizaran sobre la criba hasta el extremo de descarga. Para las unidades de varios pisos el tamaño de los orificios será progresivamente menor para cada uno de los pisos inferiores.

Existen cribas vibratorias horizontales (fig. 34), de diseño más compacto y con doble mecanismo excéntrico, esto es porque, a la vez que un excéntrico de sacudida o vibraciones el otro de avance, evitando que se obstruyan los orificios. En ambos tipos de cribas se logra la misma producción y eficiencia, teniendo las diferencias, de que las inclinadas son más económicas por su excéntrico simple, pero ocupan para tamaños

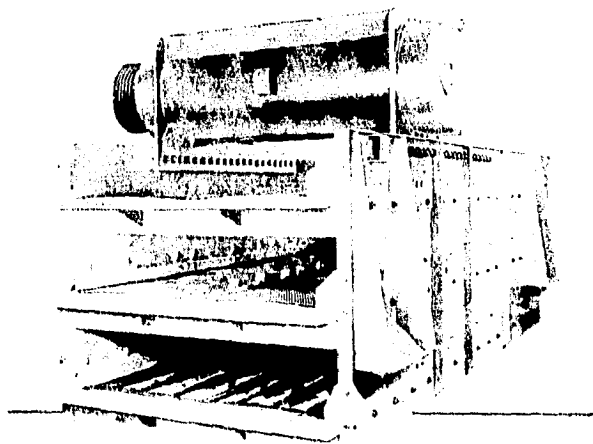


*Fig. 33- Criba vibratoria inclinada.*

iguales, un mayor espacio vertical de instalación que sus homólogas horizontales, por lo que son más empleadas estas unidades en las plantas fijas, y siendo a la vez las horizontales más aconsejables para equipar los grupos móviles.

En muchos casos especialmente cuando los agregados son productos naturales de grava, las especificaciones suelen estipular el lavado

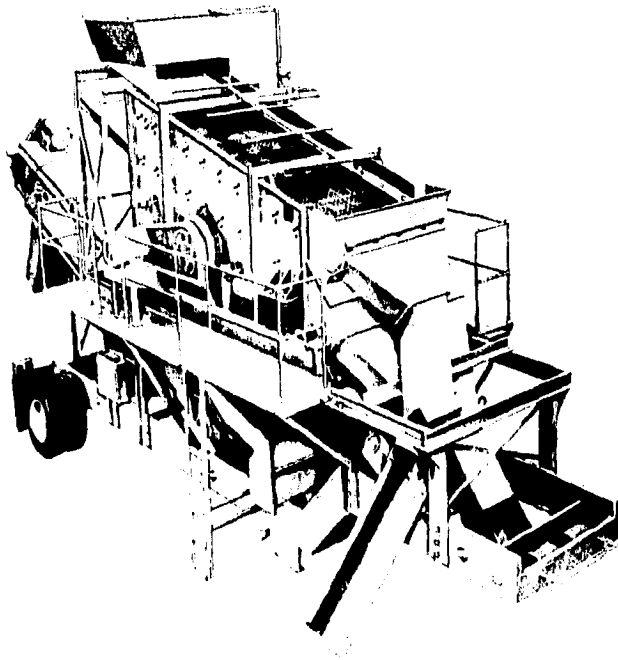




*Fig. 34- Criba vibratoria horizontal*

del material, para cuyo efecto los fabricantes suministran las mismas cribas equipadas con dispositivos lavadores llamados "flautas de riego", que se ven ilustrados en la fig. 35.

El cálculo de una criba; será el cálculo de la superficie efectiva de cribado, lo que por supuesto no es siempre la misma para las mallas colocadas en los diversos pisos de las cribas, ya que es fácil comprender que, puesto que la malla superior siempre retiene un cierto porcentaje de material de alimentación ( sobretamaño con respecto a la misma ), las mallas inferiores siempre tendrán menor carga, y por consiguiente sus



*Fig. 35- Criba vibratoria inclinada portátil,  
equipada con dispositivos lavadores.*

requerimientos dimensionales serán menores.

**Capacidades de las cribas.** La capacidad de una criba, a más de depender de su correspondiente superficie efectiva de cribado, está influenciada por múltiples factores, entre los que destacan: la clase de material de alimentación, granulometría del material, número de rangos o grupos granulométricos que serán clasificados y separados por la misma, porcentaje de sobretamaños contenidos por el material que se clasifica en cada malla, porcentaje de sub-tamaño, cribado por vía húmeda, etc.

Son tantos y tan complejos los factores que intervienen en el rendimiento o capacidad de una criba, que prácticamente resulta imposible determinarlo por medio de una fórmula que conduzca a cálculos matemáticos, razón por la cual el proceso de estimación de los rendimientos de cribas se base fundamentalmente en las estadísticas. En efecto los fabricantes de este tipo de equipos han llegado a determinar en forma estadística el rendimiento de las cribas de diferentes aberturas de malla, lo cual ha requerido de muchos años de muestreo. La práctica actual seguida por todos los fabricantes consiste en expresar la capacidad o rendimiento básico de una criba, en toneladas cortas de 2,000 libras por hora por pie cuadrado de superficie efectiva de cribado, para cada tamaño de abertura de malla.

En la tabla 17-A, se proporcionan las capacidades de una malla de criba, expresada en toneladas cortas por hora por pie cuadrado, con la correspondiente abertura de malla. Los valores obtenidos en dicha gráfica los designamos como "capacidad básica de la criba", ya que los valores obtenidos están basados en una eficiencia del 95%, con un sobretamaño del 25%. Las capacidades de dicha tabla, son solamente ideales, por lo que deben ser corregidas afectándolas por una serie de factores de corrección que se señalan a continuación.

Factor B. Es el factor de sobretamaño, por estar éste en función del porcentaje del mismo que trae la alimentación. Este sobretamaño además de ser una parte del material de alimentación que no pasará a través de la criba, estorbará el cribado del material que sí puede pasar, evitando así que una parte del material de menor tamaño de las aberturas de la criba

pase, por lo que es un factor que irá disminuyendo al aumentar el porcentaje de sobretamaño, como se pueden observar en la tabla 17-B.

Factor C: Es el factor de eficiencia de la criba. Una criba no dejará pasar todo el material cuyo tamaño sea igual o menor que las dimensiones de los orificios de la malla. Una parte de este material puede retenerse o salir por el extremo de descarga de la criba. La eficiencia de una criba se define como la relación de la cantidad de material que pasa a través de una malla, entre la cantidad total que es lo suficientemente pequeño para pasar, expresándose la relación como porcentaje.

La eficiencia más alta se logra con un hamero de un solo piso y por lo general es de 98% . La tabla 17-C, proporciona los valores de los factores por los que pueden multiplicarse los valores de la tabla de capacidades para obtener capacidades correctas para eficiencias dadas.

Factor D. Es el factor de finos, por ser el que toma en cuenta el porcentaje de finos que valla teniendo el material cribado, llamándose fino, el material que es menor o igual de la mitad del tamaño de las aberturas de la malla que se está calculado, ya que este material no va a tener ningún problema en pasar la malla, por lo que aumentará su capacidad de ésta. La tabla 17 D, proporcionara los factores que pueden aplicarse a la capacidad de un hamero para corregir el efecto de las partículas finas.

Factor E. Es el factor que toma en cuenta el cribado por vía húmeda. Este cribado por vía húmeda nos dará factores mayores de uno, ya que el agua ayuda a arrastrar los fragmentos facilitando el cribado. Cuando el cribado sea por vía seca este factor será igual a uno. En la tabla 17-E, se dan los valores de el factor de cribado por una vía húmeda.

**Tabla 17 (I parte). Factores de corrección para el cálculo de la capacidad de la criba.**

Factor " A " : Capacidad específica en toneladas cortas que pasan a través de un pie cuadrado de malla, basados en una eficiencia del 95 %, con un sobretamaño en el material alimentado del 25 %

Abertura de malla	0.116"	0.164"	0.212"	0.278"	0.40"	0.55"	0.91"	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1.19"	1.10"	2"	2.10"	3"	4"	5"		
Número de malla	48	35	28	20	14	10	8	6	4													usar solo en Criba		
Arena	144	183	226	282	36	45	57	69	73	90												bas de l		
polvo de roca	120	152	188	235	30	375	475	56	595	75												piso		
Polvo de carbón	091	.115	.142	.178	.226	.284	.36	.43	.45	.57														
Grava de río											1.08	1.40	1.68	1.94	2.16	2.36	2.56	2.90	3.20	3.70	4.05	4.30	4.65	4.90
Piedra triturada											.88	1.19	1.40	1.60	1.80	1.96	2.12	2.40	2.68	3.10	3.38	3.60	3.86	4.07
Carbón											.68	.88	1.04	1.21	1.36	1.48	1.60	1.83	2.00	2.31	2.53	2.69	2.91	3.06

Factor " B " : Es función del porcentaje de sobretamaño contenido en la alimentación a la criba.

Porcentaje de sobretamaño	Factor " B "	Porcentaje de sobretamaño	Factor " B "
10 %	1.05	85 %	0.64
20 %	1.01	90 %	0.55
30 %	0.98	92 %	0.44
40 %	0.95	94 %	0.35
50 %	0.90	96 %	0.20
60 %	0.86	98 %	0.00
70 %	0.80		
80 %	0.70		

**Tabla 17 (II parte) Factores de corrección para el cálculo de la capacidad de la criba.**

Eficiencia Deseada	6%	70%	75%	80%	85%	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%	Nota: El factor "C" para una separación perfecta o eficiencia del 100% no es aplicable. En la criba con el material de abrigados, se aplicará un factor "C" del 24%.
Factor "C"	2.10	1.75	1.55	1.40	1.25	1.10	1.05	1.00	.95	.90				

Porcentaje de humedad en el material de la muestra de la muestra de la criba	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Este factor es necesario considerarlo cuidadosamente cuando se está cribando un material con alto contenido de arena o roca fina. Por ejemplo, si se está cribando a 1/2", consideren el porcentaje menor a 1/2" en la alimentación.
Factor "D"	.55	.70	.80	1.00	1.20	1.40	1.60	2.20	3.00	---	

Tamaño de la Abertura de la malla (Pulgadas o número de la malla)	20	14	10	8	1/8"	6	4	3/4"	5/16"	3/8"	1/2"	3/4"	1" o más
Factor "E"	1.10	1.50	2.00	2.25	2.50	2.50	2.50	2.25	2.00	1.50	1.30	1.20	1.10

El tamaño por vía húmeda abajo de la malla # 20, no se recomienda. Si se criba por vía seca, se utilizará un factor "E" igual a 1. Un cribado por vía húmeda significa el utilizar de 5 a 10 galones por minuto de agua por cada yarda cúbica de material producido por hora, o sea - que por cada 50 yardas cúbicas por hora de material, se necesitarán de 250 a 500 galones por minuto de agua.

Piso	Superior	Segundo	Tercero	Para una criba de un piso, se usará un factor "F" igual a 1. Para una criba de dos o tres pisos, para el cálculo de cada piso, se utilizará el factor "F" indicado correspondiente.
Factor "F"	1.00	.80	.75	

Factor F. Este factor toma en cuenta las cribas de varios pisos, cuyo valor variará con el número de orden del piso. Cada piso deberá calcularse por separado, siendo el área correcta la del piso crítico, aunque las otras queden sobradas. Los valores están dados en la tabla 17-F.

Estos factores de corrección los podemos emplear para determinar la capacidad neta de una criba, o las necesidades de área efectiva de cribado de la misma, por medio de la siguiente ecuación.

$$Q = S \times A \times B \times C \times D \times E \times F$$

en donde:

Q = capacidad de la malla, en toneladas por hr.

S = área de la malla, en ft<sup>2</sup>.

A = capacidad teórica de la malla, en ton. por hr. por ft<sup>2</sup>.

B = factor de sobretamaño.

C = factor de eficiencia.

D = factor de finos.

E = factor por vía húmeda.

F = factor de número de orden de piso.

Para determinar el área efectiva de cribado se puede despejar ésta de la ecuación arriba mencionada, quedando de la siguiente manera:

$$S = \frac{Q(\text{Alimentación menos sobretamaño})}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

#### 4.4 GUSANOS LAVADORES.

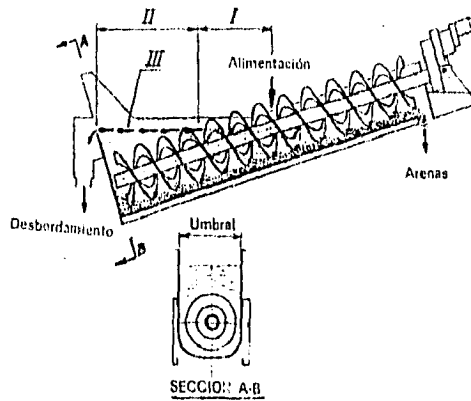
En la mayoría de los casos, especialmente tratándose de materiales procedentes de bancos naturales de grava, los agregados deben ser sometidos al proceso de lavado, tanto para la clasificación o eliminación de materiales muy finos, llamados de la serie fina, como para controlar el módulo de finura del producto.

Este tratamiento comienza en las cribas con las flautas de riego, que como ya se contempló anteriormente, son solamente aspersores que envían agua a lavar y disolver las arcillas con las que viene contaminando el agregado pétreo. Ordinariamente el agua también tiende a arrastrar el material fino, por lo que, en los casos en que la curva granulométrica requiere de cierto porcentaje de material fino, será necesario instalar dentro de la planta otro dispositivo llamado gusano lavador o clasificador de tornillo, que tiene como fin el de rescatar los materiales finos que tienden a ser arrastrados por las corrientes de agua de lavado.

El clasificador de tornillo como se observa en la fig. 36, se compone de un recipiente de placa metálica, cuya parte inferior por regla general se ensancha para formar un tanque de clasificación con un vertedor para arrojar el agua excedente con los limos y arcillas disueltas en ella. En el interior del cuerpo o recipiente gira lentamente una espiral longitudinal, accionada en su extremidad superior por un motor eléctrico con reductor de velocidad.

La mezcla de agua, arena y material contaminante caen al tanque que se encuentra con un régimen o flujo laminar, lo que provoca una separación por decantación, eliminándose las impurezas por el vertedor





*Fig. 36 Esquema del clasificador de tornillo.*

de desbordamiento, y las arenas son arrastradas a la parte alta por el tornillo, que durante la ascensión la arena es secada por el braceaje del tornillo, cayendo por la parte superior del aparato el producto limpio y seco.

Los éxitos obtenidos con este clasificador han conducido a dotarlo de un cierto número de perfeccionamientos, entre los que pueden citar:

- La adopción de una espiral de peso variable decreciente de abajo a arriba para disminuir la turbulencia en el tanque asegurando una subida de una cantidad máxima de arena por giro de tornillo;
- El montaje de varios espirales (2 ó 3) sobre la misma flecha;
- El montaje de dos flechas paralelas de espirales que giran en sentido inverso, en el mismo tanque para acrecentar el rendimiento del aparato;

- El montaje de dientes de desgaste amovibles, sobre los espirales, para disminuir la abrasión;
- La instalación de un sistema de elevación de tornillo que evite los esfuerzos exagerados en caso de atasco del depósito;
- La alimentación por conducto natural para disminuir la turbulencia, etc.

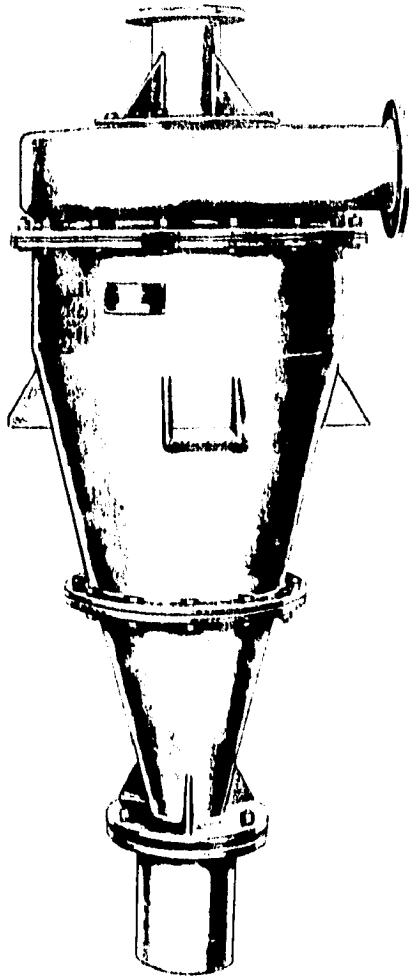
Los tamaños de los clasificadores de tornillos se dan en función del diámetro de la espiral en pulgadas, por su longitud de ésta en pies, siendo los más comunes en sus versiones sencillas y dobles las siguientes:

20" x 19', 24" x 22', 30" x 25', 46" x 28', 48" x 32', 60" x 34', 72" x 36'; con un rango de capacidad de 28 a 736 toneladas por hora.

#### **4.5 CICLONES HIDRÁULICOS.**

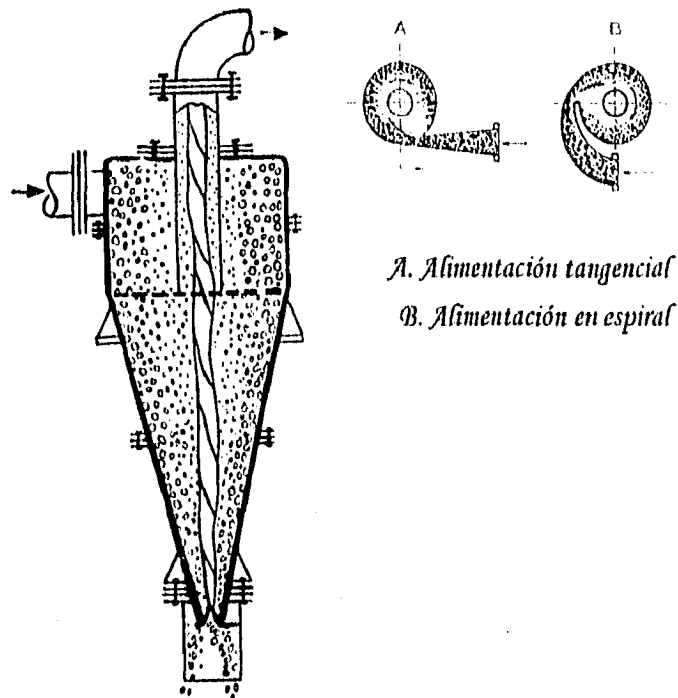
El agua de desperdicio de un gusano lavador, llega a arrastrar partículas que son útiles para la composición de la arena, estas partículas se pueden recuperar con los ciclones hidráulicos, al reciclar el agua de desperdicio, como se detalla más adelante. Estos aparatos mecánicos (fig. 37), se componen esencialmente de un recipiente cilindro cónico, fabricado con estructura de acero, y cubierto en el interior con revestimiento de caucho antiabrasivo.

La alimentación del ciclón hidráulico se hace tangencialmente bajo presión, en la sección cilíndrica superior, ya sea por columna piezométrica, o por medio de una bomba de arena centrífuga. La velocidad



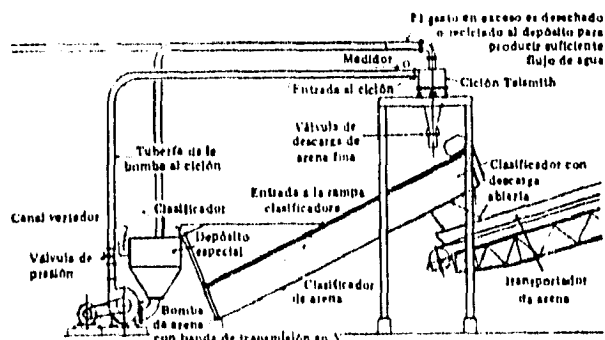
*Fig. 37- Aspecto exterior del ciclón hidráulico.*

de la corriente de alimentación obliga en consecuencia el movimiento de un trayecto circular en el interior del clasificador, siendo sometidas las partículas a potentes fuerzas centrifugas, que producen una segregación rápida por tamaños, donde las partículas finas (como limo y arcillas disueltas) se reúnen en el centro del aparato, y son arrastradas en el desbordamiento por un conducto de descarga que sale por la parte superior del ciclón (ver fig. 38).



*Fig. 38- Corte longitudinal del ciclón hidráulico.*

Los granos de arena son evacuados, bajo la forma de una pulpa con un contenido aproximado del 50% de sólidos, por la parte interior del cono, reincorporándose al gusano lavador, como se puede observar en el esquema de la fig. 39.



*Fig. 39- Muestra el esquema del circuito típico de un ciclón simple y gusano lavador.*

La introducción tangencial hay tendencia a sustituirla por la introducción de tubo en espiral, que preorienta el flujo de pulpa. Esta disposición permite rebajar la presión de alimentación y, por consiguiente, disminuye la abrasión en la parte cilíndrica superior.

Los ciclones hidráulicos son unidades de bajo costo inicial, que tiene la ventaja de poder remplazar fácilmente el revestimiento de caucho antiabrasivo de las paredes interiores, haciendo que el costo de

mantenimiento sea menor, todo esto trae por consecuencia que la operación de recuperación de finos sea más económica.

## CAPITULO V

### SELECCIÓN DEL EQUIPO DE LA PLANTA DE TRITURACIÓN.

Para que el constructor de obras de ingeniería, pueda realizar una selección técnica y económica del equipo de trituración y el equipo complementario que integran una planta de trituración estacionaria o portátil, será necesario en primer lugar que conozca los siguientes datos fundamentales:

1. Naturaleza geológica de la roca.
2. Tamaño máximo y granulometría media del material alimentador a la planta.
3. Producción requerida en toneladas por hora.
4. Tamaños y porcentajes de los productos a la salida de la planta.

La ausencia de cualquier de estas cuatro informaciones básicas, pueden dar como consecuencia el seleccionar un equipo menor en capacidad del necesario o un equipo de mayor capacidad y por lo tanto mayor costo; siendo en ambos casos los perjuicios técnicos y económicos muy considerables para el usuario.

Una vez recabada la información arriba mencionada, se procederá con ayuda de las tablas de capacidades y las curvas

granulométricas suministradas por los fabricantes de este tipo de equipo a elaborar la hoja de balance granulométrico de la instalación, utilizando para esto la forma indicada en el anexo 1, estableciendo de acuerdo con los tamaños a la alimentación y a la salida, las etapas de trituración necesarias. Al mismo tiempo se establecerá la hoja de flujo (Flow - Sheet) de la planta, indicando en cada etapa de reducción el tamaño y el modelo de la trituradora y sus aberturas de salida de operación.

En seguida y tomando en cuenta las cifras en toneladas por horas, en los puntos respectivos de la hoja de flujo se procederá al cálculo de la criba o cribas, utilizando la forma indicada en el anexo 2.

A continuación se seleccionará el alimentador de la trituradora primaria, tomando en cuenta la consideración de que el ancho del alimentador deberá ser igual o mayor del largo de la boca de admisión de la quebradora alimentada.

Después, utilizando las tablas suministradas por los fabricantes de estos equipos se seleccionará, el ancho, la longitud y la inclinación de los transportadores de bandas, así como de la potencia de los motores eléctricos de accionamiento, de los tamaños de los gusanos lavadores, ciclones hidráulicos y tanques clasificadores, o sea, de todo el equipo complementario necesario para integrar la planta de proceso de agregados por vía seca o por vía húmeda.

## **5.1 EJEMPLO**

El problema trata, de seleccionar las máquinas de trituración y cribado adecuadas, para que produzcan de un material en greña proveniente

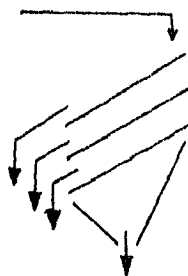




**FORMULA**

Area =  $\frac{\text{Alimentación} \cdot \text{sobre tamaño}}{\text{Alimentación}}$

A.B.C.D.E.F



B=  $\frac{\text{Sobre Tamaño}}{\text{Alimentación}}$

D=  $\frac{\Delta \leq 1/2 \text{ Abertura}}{\text{Alimentación}}$

Primer piso \_\_\_\_\_ Abertura cuadrada de malla.

A =  $\frac{\text{(t.p.h.)} - \text{(t.p.h.)}}{\text{A.B.C.D.E.F.}} = \frac{\text{(t.p.h.)}}{\text{(t.p.h./ft.2)}} = \text{ft.2}$   
 B =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$       D =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$

Segundo piso \_\_\_\_\_ Abertura cuadrada de malla.

A =  $\frac{\text{(t.p.h.)} - \text{(t.p.h.)}}{\text{A.B.C.D.E.F.}} = \frac{\text{(t.p.h.)}}{\text{(t.p.h./ft.2)}} = \text{ft.2}$   
 B =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$       D =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$

Tercer piso \_\_\_\_\_ Abertura cuadrada de malla.

A =  $\frac{\text{(t.p.h.)} - \text{(t.p.h.)}}{\text{A.B.C.D.E.F.}} = \frac{\text{(t.p.h.)}}{\text{(t.p.h./ft.2)}} = \text{ft.2}$   
 B =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$       D =  $\frac{\text{(t.p.h.)} \times 100}{\text{(t.p.h.)}} = \%$

**ANEXO 2**

de una cantera, los agregados adecuados para la elaboración de una carpeta asfáltica, considerando los siguientes datos básicos:

1. Banco de basalto limpio, de dureza media.
2. Tamaño máximo de la roca de alimentación de 18 pulgadas.
3. Se requiere una producción de 90 toneladas cortas ( de 2,000 libras o 907 kg. aprox.) por hora.
4. Tamaños del producto final:  
     $3/4'' - 3/8''$   
     $3/8'' - 0''$

Para poder determinar el proceso de trituración, que se necesita para reducir el material en greña a la granulometría requerida podemos observar las etapas de reducción mencionadas en el punto 2.4 del capítulo II, en donde se aprecia que los tamaños del producto final ( $3/4'' - 0''$ ) que nos pide el problema están comprendidos dentro de la tercera etapa de trituración, esto indica que, tomando en cuenta el tamaño de la roca de alimentación (18"), será necesario que se realicen las tres primeras etapas de reducción. En términos generales, en la etapa primaria de reducción, se fragmenta la roca a un tamaño máximo entre 4" y 10" por medio de una quebradora primaria. En la etapa secundaria se reducirá el producto de la trituración primaria, a un tamaño entre 1.1/2" y 3". En la trituración terciaria, se reducirá el producto de la trituración secundaria a un tamaño menor de 3/4".

La primera máquina que se selecciona es la quebradora primaria, eligiendo en este caso a la trituradora de quijadas de simple togle, que además de trabajar satisfactoriamente con los datos fundamentales del problema, presenta las ventajas de tener un costo de adquisición más bajo y poderse montar en grupos móviles camineros.

Haciendo uso de las tablas de capacidades de las quebradoras de quijadas (tabla 4), apreciamos que una máquina con una boca de admisión de 20" x 36", además de admitir sin problemas rocas de 18", tiene una capacidad que va de 70 a 125 toneladas por hora, (dependiendo esto de la dureza del materia), a una abertura de salida de 3". En el caso de materiales blandos (como calizas, dolomitas, yeso, carbón etc.), podemos considerar la capacidad máxima indicada de 125 toneladas por hora; mientras que en el caso de materiales muy duros y abrasivos (como cantos rodados de río, minerales de hierro y trapp), debemos considerar la capacidad mínima indicada de 70 toneladas por hora. Por lo consiguiente, consideramos que para un basalto de dureza media, nos puede dar sin problemas las 90 toneladas por hora.

A continuación utilizando la curva granulométrica respectiva (fig. 14), vemos que la quebradora de quijadas 20" x 36", con una abertura de salida de 3" nos da un material producto con un tamaño máximo de 5", anotando para nuestro balance granulométrico, los porcentajes producidos de los tamaños entre 5"-1.1/2" ; 1.1/2"-3/4" ; 3/4"-3/8" ; y 3/8"-0", en la tabla 18 de registro elaborada para tal propósito.

El material producto de la trituración primaria se hace pasar por una criba, la cual separará la fracción entre 5" y 1.1/2" que es la que

requerirá de una trituración secundaria, para que así todo el material sea de un tamaño menor de 1.1/2". Para esta etapa se seleccionará una trituradora secundaria de cono, ya que es la que realiza más económica y satisfactoriamente la operación con el tipo de roca que se procesará, utilizando la tabla de producción respectiva (tabla 7) elegimos el modelo 36 "S" (3"), que con una abertura de salida de 3/4" (que es la descarga mínima recomendable para una máquina con tazón extragrueso) triturará las 55 toneladas por hora de material de 5" - 1 1/2". Utilizando la curva granulométrica respectiva (fig. 17), se anotan en la tabla de registro No. 18, los porcentajes y toneladas por hora de los materiales producidos.

El material producto de la trituración primaria y secundaria que ya tiene un tamaño menor de 1.1/2", se harnea en una criba vibratoria, la cual clasificará el material de 3/8"-0" y 3/4"-3/8" en sus respectivas tolvas de almacenamiento, en tanto el material de 1.1/2" - 3/4" por no cumplir aún con el tamaño especificado, lo clasificará por separado para darle una tercera reducción. Al realizar en la tabla de registro el balance granulométrico de las etapas primaria y secundaria, se advierte que restan 44.5 toneladas por hora de material entre 1.1/2" y 3/4", con éste dato y por las mismas razones que en la etapa secundaria, se selecciona por medio de la tabla de capacidades respectiva (tabla 8), una trituradora terciaria de cono, modelo 36 FC (3'), la cual abierta a 7/16" en la salida produce 44.5 toneladas por hora de material menor de 3/4".

Se efectuará la cuantificación de los por cientos y toneladas por hora de materiales de 3/4" - 3/8" y 3/8" - 0" producidos en esta etapa, utilizando la curva granulométrica respectiva (fig. 17), posteriormente se

**Tabla 18 . Registro del balance granulometrico.**

Tamaño (mm)	PRIMARIA		SECUNDARIA		TERCIARIA		TOTAL	
	kg	Ton./hr.	%	Ton./hr.	%	Ton./hr.	%	Ton./hr.
1.1/2" - 5"	61	55.0	-	-	-	-	-	-
3/4" - 1.1/2"	22	19.7	45	24.8	49	44.5	-	-
3/8" - 3/4"	9	8.1	27	14.8	26	22.9	47	21.0
0 - 3/8"	8	7.2	28	15.4	25	22.6	53	23.5
<b>SUMA</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>55.0</b>	<b>100</b>	<b>90.0</b>	<b>100</b>	<b>44.5</b>

**OBSERVACIONES :**

TRITURACIÓN PRIMARIA : Contempla una quebradora de quijadas de 20" x 36" abierta a 3", produce 90 ton./ hr.

TRITURACIÓN SECUNDARIA : Contempla una quebradora de conos 36 S abierta a 3/4", produce 55 ton./ hr.

TRITURACIÓN TERCIARIA : Contempla una quebradora de conos 36 FC abierta a 7/16", produce 44.5 ton./ hr.

anotará el resumen final del producto producido en las tres etapas de reducción.

Se elabora después el diagrama de flujo (Flow-Sheet) del proceso (fig. 40), haciendo trabajar tanto la quebradora de quijadas 20" x 36", como la trituradora secundaria de cono 36 "S" (3'), en circuito abierto y la trituradora de cono terciaria 36 "FC" (3'), en circuito cerrado, para tener control del tamaño máximo del producto final.

Si se trata de una instalación móvil, se dispondrá de chasis-remolques separados de : alimentador y quebradora primaria de quijadas; criba-scalper y trituradora secundaria; criba vibratoria de dos pisos y trituradora terciaria; así como con las bandas transportadoras de conexión, recirculación y almacenamiento, necesarias para establecer el flujo de la planta.

La ventaja de disponer del equipo en grupos móviles de "función unitaria" además de tener unidades de más fácil transporte, operación y mantenimiento, es la de contar con grupos móviles autónomos que puedan trabajar por separado; es decir en caso por ejemplo, de una explotación de un banco de agregados naturales de río, pudiera no necesitar el grupo primario, o el grupo primario y el secundario, solamente necesitándose el grupo terciario, por lo tanto, se produciría el material necesario con un costo mínimo, ya que únicamente se utilizaría el equipo que realmente se requiere de acuerdo con el material natural disponible y el producto que debe elaborarse.

La selección del tamaño de la criba como ya quedo señalado, está en función del área efectiva de cribado, por lo cual será necesario

FLUJO DE LA INSTALACION  
(FLOW SHEET)

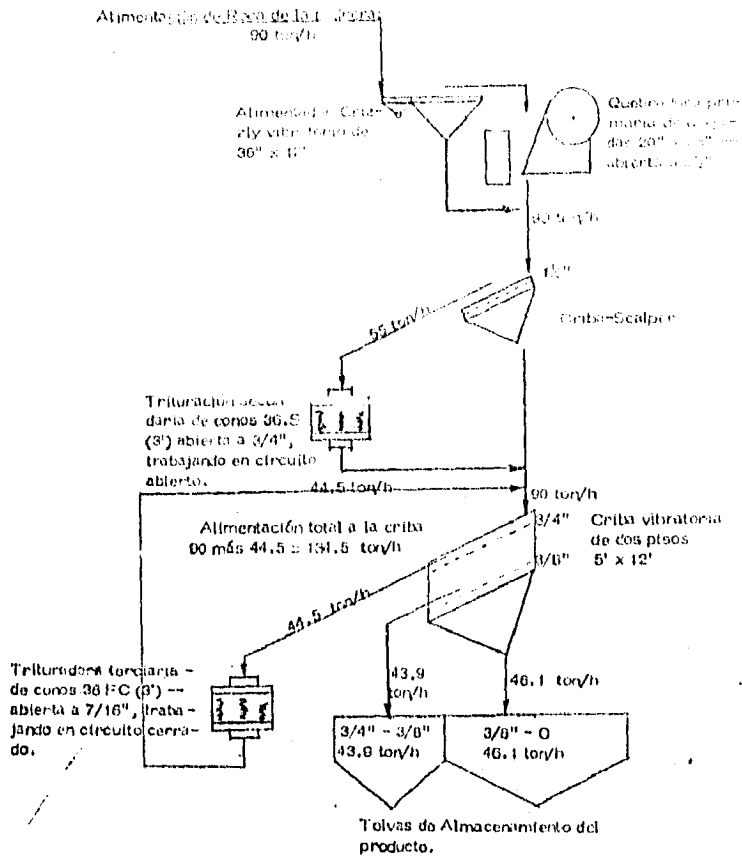


Fig. 40- Flujo de instalación (Flow-Sheet)



realizar primero el cálculo de ésta; con el auxilio de los factores de la tabla 17. elaboradas por los fabricantes de este tipo de equipos, se aplicará la fórmula siguiente:

$$\text{Area en pies cuadrados} = \frac{\text{Alimentación - sobre tamaño}}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

En el problema resuelto anteriormente, la hoja de flujo muestra que la criba de productos tiene dos mallas: una con abertura de 3/4" y otra con 3/8" y que, trabaja en circuito cerrado.

1o. : Cálculo de la malla de 3/4"

$$\text{Area en pies cuadrados} = \frac{134,5}{A \times B \times C \times D \times E \times F} - \frac{44,5}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

A = Para grava triturada: 1.80 Ton. por hr. por ft.<sup>2</sup>  
 en malla con abertura de 3/4".

B = Para sobretamaño de :  $44,5 / 134,5 \times 100 = 0,97$

C = Porcentaje de eficiencia de cribado deseada:  $94\% = 1,00$

D = Porcentaje de material inferior a 3/8" :

$$46,1 / 134,5 \times 100 = 34\% = 0,88$$

E = Para cribado por vía seca : 1.00

F = Para el primer piso : 1.00

Sustituyendo estos valores en la fórmula:

$$A_{3/4} = \frac{90}{1.80 \times 0.97 \times 1.00 \times 0.88 \times 1.00 \times 1.00} = \frac{90}{1.54} = 58 \text{ ft.}^2$$

Para la malla de 3/8" del segundo piso, el cálculo será:

$$\text{Area en pies cuadrados} = \frac{90 - 43.9}{A \times B \times C \times D \times E \times F}$$

A = Para grava triturada y malla de 3/8" de abertura:

1.19 ton. por hr. por ft.2.

B = Para sobretamaño de:  $43.9 / 90 \times 100 = 0.90$

C = Porcentaje de eficiencia de cribado: 94% = 1.00

D = Porcentaje de material inferior a 3/16": 30% = 0.80

E = Para cribado por vía seca : 1.00

F = Para el segundo piso : 0.90

Substituyendo estos valores en la fórmula:

$$A_{3/8} = \frac{46.1}{1.10 \times 0.90 \times 1.00 \times 0.80 \times 1.00 \times 0.90} = \frac{46.1}{0.78} = 59 \text{ ft.}^2$$

Puesto que 59 ft.2 es mayor que 58 ft.2, en este caso regirá el piso inferior de malla 3/8" para seleccionar el tamaño de la criba.

Se seleccionara una criba vibratoria horizontal de dos pisos, de

5' de ancho por 12' de longitud, con una área efectiva de cribado de : 5' x 12' = 60 pies cuadrados.

En la integración de plantas portátiles, se prefiere a las cribas horizontales sobre las cribas inclinadas, debido a que las primeras tienen necesidad de menor espacio vertical de instalación, cualidad muy importante para el traslado por carretera de los grupos móviles, ya que con las cribas horizontales se obtienen alturas de la unidad sensiblemente menores a las de los mismos grupos móviles equipados con cribas inclinadas.

## **5.2 ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL PARA LA PLANTA DE TRITURACION.**

La planta de que se trata el problema se ilustra en la fig. 41, y es una planta para producir material para pavimentación, que consta de una trituradora primaria, una secundaria y una terciaria, todas montadas sobre remolque. Existen cinco bandas transportadoras que las unen y colocan el material en forma de montones; los motores de las máquinas a excepción de las bandas son eléctricos y se abastecen de energía mediante una planta de fuerza con motor diesel con capacidad de 600 kilovolts.

Para facilitar el estudio del problema, éste se ha dividido en dos partes que son:

- control de cantidades de producción y;
- control de costos de producción

**Control de cantidades.** Para definir el control se debe principiar por fijar el estándar, es decir la producción esperada. Para

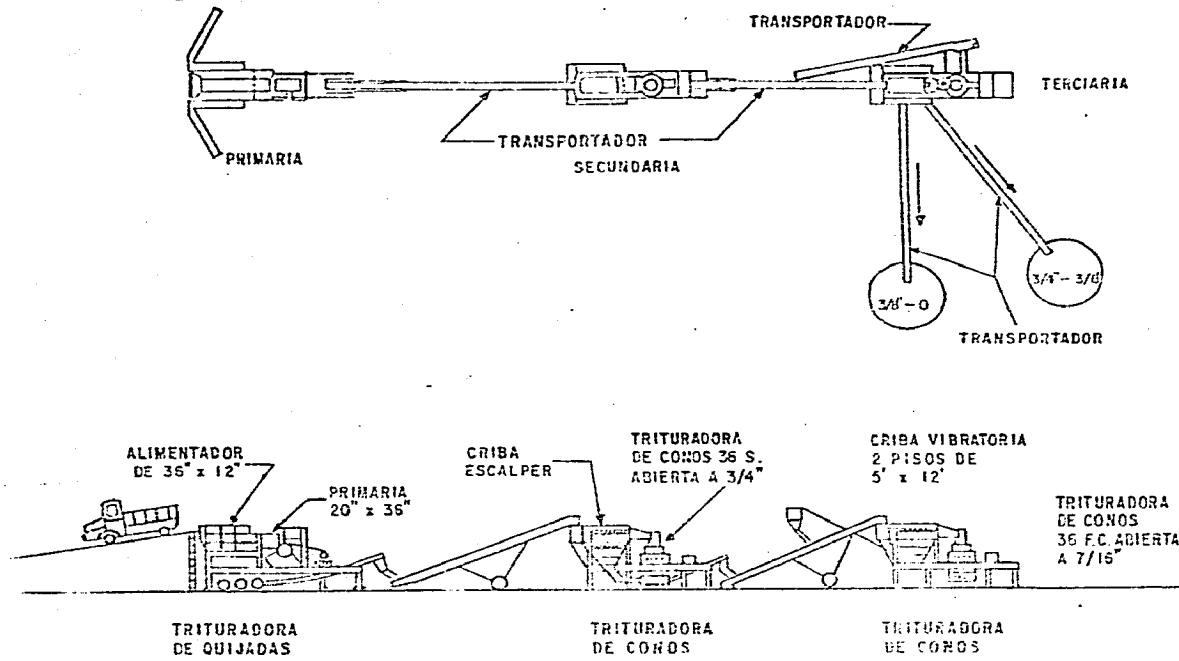


Fig. 41- Planta portátil de trituración y cribado

determinarlo se tiene el dato del fabricante, que en el caso de este sistema es de 90 toneladas de 2,000 libras por hora, igual a 81.72 toneladas métricas, además se debe suponer una eficiencia del conjunto, que en este caso se fija en 0.70. Con estos datos y suponiendo un peso volumétrico de 1.5 toneladas por metro cúbico, se tiene lo siguiente:

a) Producción horaria:

$$R = \frac{81.72 \text{ Ton/hr.} \times 0.70}{1.50 \text{ Ton/m}^3} = 38 \text{ m}^3/\text{hr}$$

b) Producción diaria :

$$38 \text{ m}^3/\text{hr} \times 15.5 \text{ hr/día} = 589 \text{ m}^3/\text{día}$$

c) Producción mensual :

$$589 \text{ m}^3/\text{día} \times 25 \text{ días/mes} = 14725 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Para controlar la producción se podría por ejemplo usar la gráfica que se muestra en la fig. 42, en donde la línea continua corresponde a la producción esperada mensual, y con línea punteada se muestra la producción real, ambas acumuladas en el mes.

Algunas veces el estándar por mes no es igual, ya que se podría suponer una eficiencia más baja al principio, los estándares de los primeros meses podrían bajar, pero el sistema es el mismo.

También puede usarse una carta de control, como se muestra en la fig. 43, en la que se fija la producción deseada, las producciones diarias y la media, que puede ser del mes o acumulada. Si la producción real no es igual a la producción deseada, es necesario analizar las causas y tomar decisiones para corregir aquellos defectos que impiden que la producción sea la planeada.

Un tipo de reporte diario y semanal que se muestra en las figs.



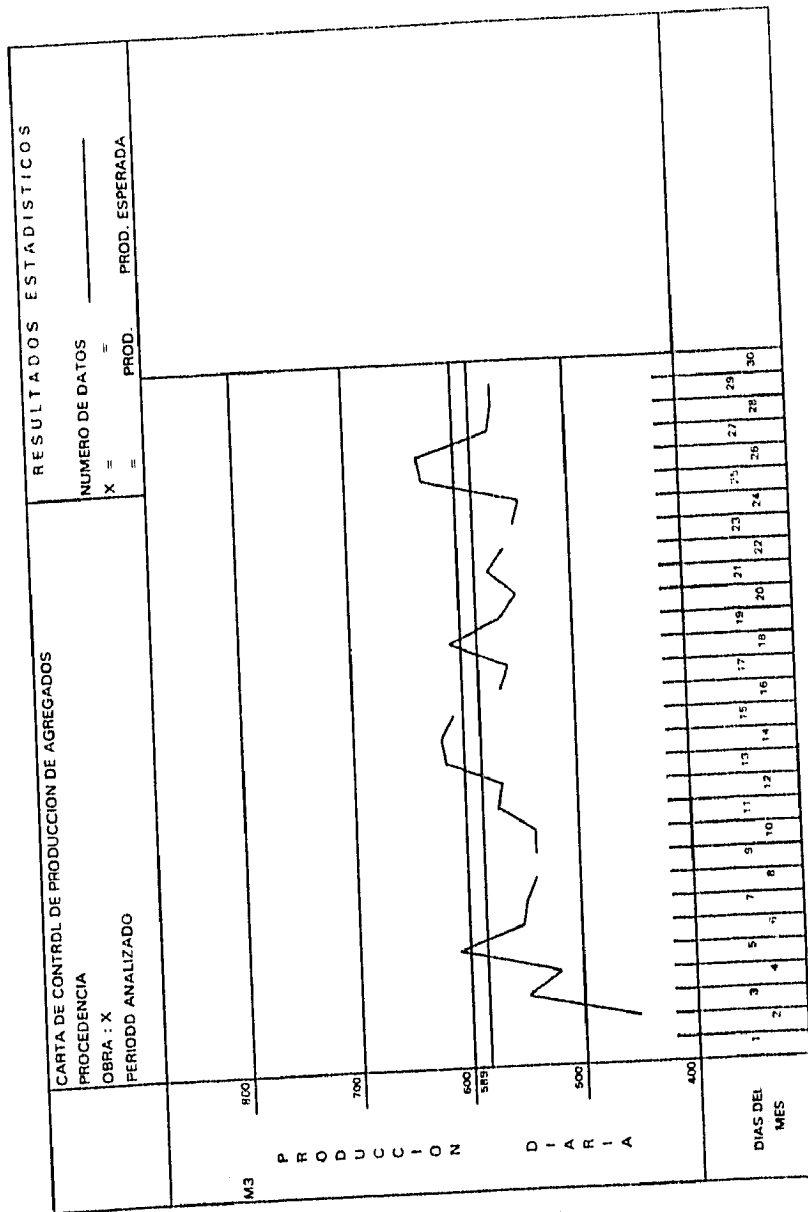


Fig. 43- Carta mensual de control de producción de agregados.

44 y 45, respectivamente, que analiza la producción por hora efectiva, las horas efectivas trabajadas y las causas de demoras, nos ayudará efectivamente a definir el problema y tomar acciones correctivas.

Viendo el informe de producción semanal, nos podemos dar cuenta que la producción por hora efectiva ésta correcta, e inclusive ligeramente superior al dato del fabricante, ( $54.5 \text{ m}^3/\text{hr} = 81.72/1.50$ ). Por lo que podemos enfocar el problema como defecto en el número de horas trabajadas.

A la vez analizando las horas perdidas se podría analizar primero las que aplican un mayor porcentaje, que serían las reparaciones de la criba y las piedras atoradas. De inmediato podrían tomarse decisiones para corregir estas anomalías aumentando así el número de horas trabajadas.

Este tipo de reportes, que pueden diseñarse para cada actividad de construcción son de gran ayuda para el control y toma de decisiones posteriores. Sin estos datos es frecuente que se tomen decisiones erróneas por falta de información fehaciente y oportuna.

**Control de costos de producción.** En la misma forma que en el control de producción, debe obtenerse en primer lugar el posible costo mensual, que nos va a servir como base de comparación, es decir de estándar.

Conviene dividir el costo de acuerdo como vamos a llevar el control. En este caso vamos a ejemplificar el control con el costo directo, dividiendo este en; costo de maquinaria, de mano de obra, de materiales, combustibles y lubricantes.



### INFORME DIARIO DE PRODUCCIÓN

OBRA : \_\_\_\_\_ " X " \_\_\_\_\_      FECHA : Junio de 1996  
 TIEMPO TEORICO DE OPERACIÓN: 15:30 HORAS  
 TIEMPO REAL DE OPERACIÓN : 7:20 HORAS  
 NÚMERO DE DEMORAS : 7  
 EFICIENCIA : 47.5%    EFICIENCIA ESPERADA : 70%  
 PRODUCCIÓN REAL : 400 M<sub>3</sub>  
 PRODUCCIÓN POR HORA EFECTIVA : 400 / 7.33 = 54.57 M<sub>3</sub>  
 PRODUCCIÓN ESPERADA : 54.50 M<sub>3</sub>



FALTA DE MATERIAL	1:05	6.9
REPARACIÓN DE PLANTA DE LUZ	1:10	7.5
REPARACIÓN TRIT. SECUNDARIA	1:30	9.7
SOLDANDO MALLAS	1:10	7.5
FALTA DE ENERGIA ELECTRICA	0:35	3.7
REPARACIÓN CRIBA	0:40	4.3
PIEDRAS ATORADAS	2:00	12.9

TOTAL

8:10	52.5
------	------

*Fig. 44- Muestra el informe diario de producción de agregados.*

**INFORME DE PRODUCCIÓN SEMANAL**

OBRA : \_\_\_\_\_ " X " \_\_\_\_\_ PERIODO : \_\_\_\_\_ Junio de 1996 \_\_\_\_\_  
 PRODUCCIÓN REAL : \_\_\_\_\_ 2,600 M<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ PRODUCCIÓN ESPERADA : \_\_\_\_\_ 3,534 M<sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 EFICIENCIA REAL : \_\_\_\_\_ 48.8 % \_\_\_\_\_ EFICIENCIA ESPERADA : \_\_\_\_\_ 70 % \_\_\_\_\_  
 HORAS TRABAJADAS : \_\_\_\_\_ 45.4 \_\_\_\_\_ HORAS DEMORA : \_\_\_\_\_ 47.6 \_\_\_\_\_  
 PRODUCCIÓN REAL POR \_\_\_\_\_ PRODUCCIÓN ESPERADA \_\_\_\_\_  
 HORA EFECTIVA : \_\_\_\_\_ 57.3 M<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ POR HORA EFECTIVA : \_\_\_\_\_ 54.5 M<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

CAUSA DE DEMORAS	HORAS PERDIDAS	% EFICIENCIA PERDIDA
FALTA DE MATERIAL	1:30	1.6
REPARACIÓN PLANTA DE LUZ	1:10	1.2
REPARACIÓN TRIT. SECUNDARIA	6:30	7.0
SOLDANDO MALLAS	5:00	5.4
FALTA DE ENERGIA ELECTRICA	1:00	1.1
REPARACIÓN CRIBA	16:00	17.2
MANT. CAMINO A PLANTA	1:00	1.1
PIEDRAS ATORADAS	11:00	11.8
DESCOMPOSTURA BANDAS	1:30	1.6
POR AL MACENAMIENTO	3:00	3.2
<b>TOTAL</b>	<b>47:40</b>	<b>51.2</b>

*Fig. 45- Muestra el informe semanal de producción de agregados.*

A continuación se analizan los costos por hora de; maquinaria, materiales y mano de obra, de los equipos que conforman la planta de trituración y cribado del mismo problema que trata el ejemplo anterior.

Fecha de cotización : Junio de 1996

**I.- Datos generales.**

**A. Quebradoras.**

Trituradora de quijadas 20" x 36", con alimentador de 36" x 12' ; y motor eléctrico de 150 HP. _____	\$ 1,592,137.50
Trituradora de cono 36"S", con criba Scalper, y motoreléctrico de 110 HP. _____	\$ 1,463,362.50
Trituradora de cono 36 "FC", con criba de dos pisos y motor eléctrico de 150 HP. _____	\$ 843,945.00
	\$ 3,899,445.00

Nota : todos los equipos mencionados estan montados en remolques

Por lo tanto:

Valor de adquisición (VA)	:	\$ 3,899,445.00
Valor de recate (VR)	:	20.00 %
Tasa de interés (i)	:	18.70 %
Prima de seguros (S)	:	3.0 %
Vida económica (VE)	:	5.0 años
Horas por año (HA)	:	2000.0 Hrs./año
Factor de mantenimiento(Q)	:	0.8
Factor de operación	:	0.9
Potencia operación	:	4.10 HP.

### **B. Bandas Transportadoras ( 5 bandas ).**

Dos equipos de 36" x 60', uno de 24" x 50'  
y dos de 18" x 60' :

Valor de adquisición (VA)	:	\$ 886,990.00
Valor de recate (VR)	:	20.00 %
Tasa de interés (i)	:	18.7 %
Prima de seguros (S)	:	3.0 %
Vida económica (VE)	:	5.0 años
Horas por año (HA)	:	2000.0 Hrs./año
Factor de mantenimiento (Q)	:	0.8
Factor de operación	:	0.8
Potencia operación	:	4.10 HP

### **C. Planta eléctrica de 600**

Motor diesel de 805 HP. :

Valor de adquisición (VA)	:	\$ 570,000.00
Valor de recate (VR)	:	20.0 %
Tasa de interés (i)	:	18.7 %
Prima de seguros (S)	:	3.0 %
Vida económica (VE)	:	5.0 años
Horas por año (HA)	:	2000.0 Hrs./año
Factor de mantenimiento (Q)	:	0.8
Factor de operación	:	0.8
Potencia operación	:	4.10 HP.

## II.- Cargos fijos.

### A. Quebradoras

$$\begin{aligned} \text{Depreciación} &: D = \frac{VA - VR}{VE} \\ &= \frac{3,899,445 \times 0.80}{5 \times 2,000} = \$ 311.96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión} &: I = \frac{(VA + VR)}{2 HA} i \\ &= \frac{(3,899,445 \times 1.2)}{2 \times 2,000} 0.187 = \$ 218.76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Seguros} &: S = \frac{(VA + VR)}{2 HA} s \\ &= \frac{(3,899,445 \times 1.2)}{2 \times 2,000} 0.03 = \$ 35.09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mantenimiento} &: M = Q D \\ &= 0.80 \times 311.96 = \$ 249.57 \end{aligned}$$

$$\text{SUMA CARGOS FIJOS POR HORA} = \$ 815.38$$

**B. Bandas transportadoras.**

$$\begin{aligned} \text{Depreciación} & : D = \frac{VA - VR}{VE} \\ & = \frac{886,990 \times 0,80}{5 \times 2,000} = \$ 70,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión} & : I = \frac{(VA + VR)}{2 HA} i \\ & = \frac{(886,990 \times 1,2)}{2 \times 2,000} 0,187 = \$ 49,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Seguros} & : S = \frac{(VA + VR)}{2 HA} s \\ & = \frac{(886,990 \times 1,2)}{2 \times 2,000} 0,03 = \$ 7,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mantenimiento} & : M = Q D \\ & = 0,80 \times 70,96 = \$ 56,77 \end{aligned}$$

**SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 185,47**

### C. Planta eléctrica.

$$\begin{aligned} \text{Depreciación} : D &= \frac{VA-VR}{VE} \\ &= \frac{570,000 \times 0,80}{5 \times 2,000} &&= \$ 45,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inversión} : I &= \frac{(VA+VR)}{2 HA} i \\ &= \frac{(570,000 \times 1,2)}{2 \times 2,000} 0,187 &&= \$ 31,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Seguros} : S &= \frac{(VA+VR)}{2 HA} s \\ &= \frac{(570,000 \times 1,2)}{2 \times 2,000} 0,03 &&= \$ 5,13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mantenimiento} : M &= Q D \\ &= 0,80 \times 45,60 &&= \$ 36,48 \end{aligned}$$

SUMA CARGOS FIJOS POR HORA = \$ 119,19

### III.- Consumos.

#### Bandas transportadoras:

- lubricante = 1/10 lt./hr. x \$ 14.00/lt.	= \$ 1,40
- bandas = VA / VE = \$ 385,000 / 3,500	= \$ <u>110.00</u>
SUMA CONSUMOS POR HORA	= \$ 111.40

#### Planta eléctrica:

- combustible (diesel) : E = 0.20 X 644 HP. OP x \$ 2.02/lt.	= \$ 260.18
- Lubricantes: 2.89 lt/hr x \$ 14.00/lt.	= \$ <u>40.46</u>
SUMA CONSUMOS POR HORA	= \$ 300.64

### IV.- Operación.

Salarios. Los salarios base deberán incrementarse para obtener el salario real tomando en cuenta, cuotas del seguro social pagadas por el patrón, infonavit, prestaciones de la ley federal del trabajo, impuesto complementario, fondo para fomento deportivo y guarderías en sus casos. Realizando las operaciones se tendrá el salario real, suponiendo un factor de conversiones, como se muestra a continuación.



CATEGORIA	SALARIO BASE	FACTOR DE CONVERSIÓN	SALARIO REAL
Peón	\$ 35.71	1.59	\$ 56.78/Jor.
Operador de quebradora	\$ 71.43	1.54	\$ 110.00/Jor.
Sobrestante	\$ 85.71	1.54	\$ 131.99/Jor.

Para obtener el costo horario se presume una eficiencia del 75% o se considera el costo anual dividido entre el número de horas trabajadas por la máquina en un año.

Usando el primer criterio tendríamos:

Peón	$\frac{\$ 56.78/\text{Jor.}}{8 \text{ hr./Jor} \times 0.75}$	= \$ 9.46/hr.
Operador	$\frac{\$ 110.00/\text{Jor.}}{8 \text{ hr./Jor} \times 0.75}$	= \$ 18.33/hr.
Sobrestante	$\frac{\$ 131.99/\text{Jor.}}{8 \text{ hr./Jor} \times 0.75}$	= \$ 22.00/hr.

Con todos estos costos se pueden preparar las siguientes tablas.

### COSTOS DIRECTOS POR HORA

#### I. Maquinaria ( cargos fijos ).

A. Quebradoras	\$ 815.38
B. Bandas transportadoras	\$ 185.47
C. Planta eléctrica	\$ 119.19
C.D. MAQUINARIA	\$ 1,120.04/hr.

**II. Materiales (consumo)**

Bandas transportadoras	\$ 111.40
Planta eléctrica	\$ <u>300.64</u>
C.D. MATERIALES	\$ 412.04/hr.

**III. Mano de Obra.**

Un sobrestante	\$ 22.00
Cuatro operadores	\$ 73.32
Tres peones	\$ <u>28.38</u>
C.D. MANO DE OBRA	\$ 123.70/hr.

**RESUMEN COSTOS DIRECTOS POR HORA**

Maquinaria	\$ 1,120.04
Materiales	\$ 412.04
Mano de obra	\$ <u>123.70</u>
COSTO DIRECTO TOTAL POR HORA	\$ 1,655.78

COSTO DIRECTO POR M3 = \$ 1,655.78/hr.  
38 M<sup>3</sup>/hr.

= \$ 43.57/M<sup>3</sup>

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Tanto la evolución de las técnicas de construcción como la magnitud de las obras civiles que se realizan en la actualidad, han obligado a establecer normas más estrictas y elaboradas de control de calidad, en la producción de los agregados pétreos para concretos hidráulicos.

2. Es necesario elaborar cuidadosamente los estudios técnicos y económicos necesarios en la selección del equipo adecuado para cada caso particular.

3. En un país como México, donde puede encontrarse cualquier tipo de roca como materia prima, se tendrá que elegir la combinación de máquinas que produzcan el agregado de la calidad especificada con el mínimo costo por metro cúbico producido.

4. En las grandes obras de infraestructura, donde es necesario producir grandes volúmenes de concreto de primera calidad, se ha procedido a instalar plantas de elevada capacidad para el proceso de la roca por vía húmeda (presas de Apulco, Infiernillo, Santa Rosa, El Novillo, La Amistad, Malpaso, La Angostura, Chicoasén, Aguamilpa, Zimapan, etc.). En algunos casos, la arena se obtuvo de la explotación de bancos de río, mientras que en otros, fue necesario producirla artificialmente por medio

de la molienda de gravas en un equipo constituido por: molinos de barras de doble alimentación axial y salida periférica central.

En la planta de trituración de grava-arena de río para la elaboración de agregados de los concretos de la central Nucleoeléctrica de Laguna Verde en el Estado de Veracruz, se utilizó arena fina natural de río, con arena gruesa producto de trituración cuaternaria con conos tipo VFC de 48" de tamaño, contando dicha planta, para el control estricto de la granulometría y del módulo de finura de las arenas utilizadas, con un tanque clasificador corrector por vía húmeda.

Por lo que se refiere a las plantas de producción de agregados destinados a satisfacer las necesidades de las áreas urbanas más importantes de nuestro país, desgraciadamente debido a la escasez crónica de agua, operan generalmente por vía seca, obligando a que se consuma más cemento en la elaboración de concretos hidráulicos.

5. En la ciudad de México y zona metropolitana, donde se encuentran rocas ígneas (basaltos del Pedregal y los Reyes, conglomerados andesíticos de Santa Fe, Texcoco, etc.) se utiliza generalmente la quebradora de quijadas para realizar la etapa primaria, y las trituradoras de cono para las etapas secundaria y terciaria. En cambio en Monterrey (Las Mitras y Topo Chico) y Mérida, donde se explotan bancos de calizas y dolomitas poco abrasivas, se utilizan con frecuencia las trituradoras de impacto, martillos y de rodillo doble y triple.

6. Actualmente, algunas empresas mexicanas están triturando calizas en bancos a la orilla del Mar Caribe, en playa del Carmen Quintana Roo, para producir diversos tipos de agregados, cargarlos con transportador

de banda a barcos-tolva de 70 mil a 80 mil toneladas de capacidad, y exportarlo a Houston, Galveston y varios otros puertos estadounidenses en el Golfo de México. Dado que en la zona del sureste de los Estados Unidos son poco abundantes los bancos de roca adecuados para la elaboración de agregados, es necesario transportarlos en carros de ferrocarril o chalanas de río desde sitios tan alejados como Wyoming, Colorado, Minnesota, Illinois, etc., pudiendo competir en costo y precio, los agregados producidos en el estado de Quintana Roo, México.

7. Se aprecia que en los últimos 70 años, las máquinas de trituración propiamente dichas (quebradoras de quijada y giratorias; trituradoras de cono, rodillos, impacto y martillos; molinos de barras y de bolas) han evolucionado poco. Sin embargo, el equipo complementario (alimentadores, transportadores de banda, cribas vibratorias, gusanos lavadores, motores y controles eléctricos, grupos electrógenos, etc.), ha tenido un desarrollo notable en los últimos 70 años, por lo que con las mismas máquinas de trituración existentes en la década de los veinte, se pueden integrar en la actualidad plantas mucho más eficientes con mucha menor necesidad de equipo humano para su operación, costos de producción más bajos y mejor calidad del producto final.

8. La mecanización y automatización de las plantas de producción de agregados pétreos se ha convertido en un imperativo en la actualidad para mejorar la regularidad de su funcionamiento, su rendimiento y la calidad de los productos elaborados.

9. No hay que olvidar que la adecuada selección del equipo de preparación, explotación y manejo del producto de la pedrera o banco

(despalme, barrenación, voladura, carga y transporte), influirá decisivamente en el costo del producto final.

## BIBLIOGRAFIA

\*\*\*\*\*

- 1.- "TECNICAS MODERNAS DE PRODUCCION DE AGREGADOS". U.N.A.M.; México, D.F., 1975  
Ing. Pedro Luis Benitez Esparza
- 2.- EQUIPOS DE EXTRACCION Y DE PREPARACION MINERALES. eta. S.A.; Barcelona, España, 1970  
Ing. Jean Costes
- 3.- RELACION ENTRE LAS INDUSTRIAS DEL HORMIGON PREPARADO Y LA EXTRACCION Y PREPARACION DE ARIDOS. ( Ponencia presentada al I Congreso Iberoamericano ). Zaragoza, España, 1976  
Ingeniero Superior de Minas.  
José Iriarte Viscaino
- 4.- LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS DEL ARIDO GRUESO EN UNA CALIDAD DE HORMIGON Y SU CONTROL. España, 1976  
Bernardo Bacle
- 5.- "AGREGADOS PARA CONCRETO". Revista I.M.C.Y.C, vol. 21, no. 152. México. D.F., 1983  
Ing. Pedro Luis Benitez Esparza
- 6.- TRATADO DE CONSTRUCCION. Tomo I  
Compañía editorial Continental, S. A.  
Ing. Antonio Migtel Saad
- 7.- METODOS, PLANEACION Y EQUIPOS DE CONSTRUCCION. Editorial DIANA, S. A.  
R. L. Peurifoy
- 8.- MOVIMIENTOS DE TIERRAS  
H. L. Nichols
- 9.- MANUAL SOBRE EL CALCULO DE P. U. DE TRABAJOS DE CONSTRUCCION. TOMO V. Características del equipo de fabricación, transporte y colocación del concreto. México 1964  
Secretaria de Recursos Hidraulicos
- 10.- TECNOLOGIA DEL CONCRETO ( Tomo I )  
Editado: I.M.C.Y.C: 1975  
A. M. Neville